



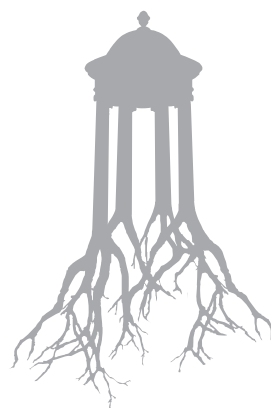
UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

→ **UPCGRAU**

Començant a construir →

Agustí Portales Pons





UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH



iniciativa
digital politècnica
Publicacions Acadèmiques de la UPC

→ **UPCGRAU**

Començant a construir →

Agustí Portales Pons

Primera edició: gener de 2016

- © Agustí Portales Pons, 2016
- © Iniciativa Digital Politècnica, 2016
Oficina de Publicacions Acadèmiques Digitals de la UPC
Jordi Girona 31,
Edifici Torre Girona, Planta 1, 08034 Barcelona
Tel.: 934 015 885
www.upc.edu/idp
E-mail: info.idp@upc.edu

DL: B 1948-2016
ISBN: 978-84-9880-566-6

Qualsevol forma de reproducció, distribució, comunicació pública o transformació d'aquesta obra només es pot fer amb l'autorització dels seus titulars, llevat de l'excepció prevista a la llei.



Índex

Pròleg	9
Fragment de l' <i>Elogi del viure</i> , Joan Maragall (1860-1911)	9
Sobre el contingut de <i>Començar a construir</i>	9
1. Aprendre a aprendre. L'àmbit d'actuació. Els primers conceptes	13
1.1 Una aproximació a l'estructura del coneixement. Aprendre a aprendre. La taxonomia de Bloom	13
1.2 Els primers conceptes: arquitectura, construcció i edificació	15
1.3 Els agents de la construcció i de l'edificació	16
1.4 Els valors de la professió	17
1.5 Els primers objectius del graduat en Arquitectura Tècnica i Edificació	18
1.6 La construcció del projecte arquitectònic	19
1.7 L'addició	24
1.8 Reducció, repetició i modulació	25
1.9 Altres recursos del projectista-constructor: eixos i traçats reguladors	25
1.10 Els models	26
1.11 El patrimoni construït. La necessitat de conèixer-lo	28
1.12 L'estudi analític de la construcció	30
1.13 Sobre el sistema estructural i els seus principis	31
2. Sobre els materials de construcció	37
2.1 Introducció	37
2.2 Caracterització dels materials de construcció	37
2.3 Criteris per a la selecció dels materials de construcció	42
2.4 Referències històriques	43
2.5 El comportament dels materials de construcció	45
2.6 Paràmetres representatius dels materials de construcció	46
2.7 Adequació a l'ús dels materials de construcció	50



3. Les primeres actuacions	57
3.1 Requisits per començar a construir	57
3.2 Neteja i esbrossada del terreny o del solar	58
3.3 El replanteig	58
3.4 Aparells topogràfics	59
3.5 Estris per al replanteig	62
3.6 Moviments de terres	64
3.7 Procés d'execució per a l'extracció de terres	65
3.8 Excavació de rases, pous i galeries	67
3.9 Esponjament	69
3.10 Els reblerts	70
3.11 Talussos provisionals	70
3.12 Protecció permanent de talussos	71
3.13 Tècniques per millorar els sòls	72
4. La geotècnia orientada al disseny constructiu dels fonaments i dels sistemes de contenció	77
4.1 El sòl com a primer material de construcció	77
4.2 La geotècnia	78
4.3 El sòl. Roques i terres	79
4.4 La geotècnia i les seves aplicacions pràctiques	80
4.5 Aproximació a les roques. Origen i comportament	81
4.6 La composició física dels sòls	83
4.7 La classificació dels sòls	83
4.8 Propietats comunes als sòls	86
4.9 Propietats específiques dels sòls	87
4.10 Sobre les propietats intrínseques	88
4.11 Sobre les propietats d'estat	90
4.12 Sobre les propietats o característiques geotècniques	93
4.13 Classificació dels sòls segons la mida dels seus grans, elaborada per Albert M. Atterberg (1846-1916)	97
4.14 Previsió de les deformacions d'un sòl sotmès a tensió	98
4.15 Caracterització dels sòls coherents. Els límits d'Atterberg, l'àbac de Casagrande i el triangle de Feret	100
4.16 Les argiles expansives	102
4.17 La resistència dels sòls i el seu trencament. El cercle de Mohr i la recta de Coulomb	103
4.18 Relacions entre les tensions principals d'un sòl en estat d'equilibri plàstic. Els equilibris de Rankine	105
4.19 Aplicació dels equilibris de Rankine a la determinació d'empentes del sòl	107
5. L'obtenció de paràmetres geotècnics	111
5.1 Introducció	111
5.2 Els aparells de laboratori	112
5.3 Aparells i assaigs de camp	118
6. Fonaments superficials i semiprofunds	133

6.1 El concepte de fonament	133
6.2 Criteris generals de disseny	134
6.3 Tipologies de fonaments superficials i semiprofunds.....	135
6.4 Els fonaments semiprofunds	149
7. Fonaments profunds. Tipologies de pilons.....	155
7.1 Els fonaments profunds. Antecedents	155
7.2 El treball mecànic dels pilons	156
7.3 Petit glossari sobre pilons	157
7.4 Criteris per a la utilització de pilons	159
7.5 Classificació general dels pilons	159
7.6 Classificació dels pilons segons el sistema de construcció	160
7.7 Els pilons prefabricats o CPP	166
7.8 Aspectes de seguretat.....	168
7.9 Resistència d'un piló sotmès a compressió centrada	168
7.10 Criteris de disseny constructiu per a la formació d'armadures de pilons formigonats <i>in situ</i>	169
7.11 Protocol per al disseny d'una fonamentació realitzada amb pilons (fonamentació profunda)	170
7.12 Consideracions de caràcter constructiu per als enceps	172
8. La contenció de terres.....	175
8.1 Introducció.....	175
8.2 Tipologies dels sistemes de contenció de terres.....	176
8.3 Aspectes de la tècnica constructiva sobre els murs de contenció de formigó armat	191
8.4 Sistemes d'encofrats per a murs	194
8.5 Productes desencofrants.....	197
9. El sistema estructural de parets	201
9.1 Introducció.....	201
9.2 La funcionalitat de les parets estructurals	202
9.3 Evolució de les parets estructurals.....	204
9.4 Les aportacions dels romans. La paret de doble cara i el formigó de calç.....	206
9.5 Alguns elements constructius de les parets	207
9.6 El totxo ceràmic com a material de construcció de parets estructurals ..	210
9.7 La irrupció del totxo en la construcció catalana. La paret prima	212
9.8 Alguns defectes propis de la fàbrica de totxo.....	214
9.9 Un model de llarga tradició, elaborat amb fàbrica de totxo estructural. La casa de renda a Barcelona i els seus condicionaments	217
9.10 Exigències bàsiques dels models estructurals de paret prima	220
9.11 Les noves aportacions de la indústria ceràmica.....	222
9.12 La Termoarcilla®.....	223
9.13 La fàbrica del bloc de formigó	224
9.14 Les fàbriques no convencionals.....	225
10. Estructures de barres	229
10.1 Introducció.....	229



10.2 Discretització de les estructures de barres. Simplificació i esquematisme	230
10.3 Conceptes complementaris. Llum lliure i llum de càlcul	231
10.4 Tipologies i característiques mecàniques dels nusos	231
10.5 Tipologies de les estructures de barres	234
10.6 Estructures espacials de barres	236
10.7 Les cúpules geodèsiques. Què són i com es construeixen	241
10.8 Els punts febles de les estructures de barres, la resolució dels nusos, el guexament i la flexió	243
10.9 Els encontres de les estructures de barres amb els fonaments.....	244
11. Prefabricats de formigó armat per a estructures i tancaments d'edificació	249
11.1 Els antecedents dels prefabricats estructurals de formigó armat	249
11.2 La genètica porta a la construcció <i>in situ</i>	250
11.3 L'economia de mitjans i el respecte al medi ambient porten a la construcció prefabricada i semiprefabricada.....	251
11.4 Prefabricats i semiprefabricats. Avantatges i inconvenients.....	252
11.5 Famílies de semiprefabricats i de prefabricats de formigó armat per a estructures i tancaments d'edificació	254
11.6. El GRC	270
12. Introducció als sostres	273
12.1 Els sostres. Definició i funcions.....	273
12.2 Els sostres de fusta	274
12.3 Els sostres de biguetes metàl·liques.....	277
12.4 El tipus de sostres actuals amb el formigó com a protagonista	277
12.5 Els sostres semiprefabricats.....	284
12.6 Els sostres prefabricats	287
12.7 Les prestacions estructurals dels sostres actuals, respecte dels antics	289
12.8 La determinació aproximada dels moments en els sostres continus	290
12.9 Els junts de dilatació als sostres. Solucions constructives	292
13. La pell dels edificis	297
13.1 La pell dels edificis. Primers conceptes.....	297
13.2 Funcions de la pell dels edificis	299
13.3 Estudi analític de les característiques generals dels elements que configuren la pell dels edificis	300
13.4 Fusteries per a la pell dels edificis. La fusteria exterior. Introducció ...	323
13.5 Algunes solucions constructives d'encontres entre la fusteria i el tancament de la façana	330
13.6 Les cobertes. Definició i conceptes generals	330
13.7 Tipologies de cobertes	331
14. Divisòries interiors	343
14.1 Introducció a les divisòries interiors i a les seves funcions	343
14.2 Requisits i prestacions de les divisòries	344
14.3 Altres requisits de les divisòries	346

14.4 Tipus de divisòries secundàries segons el CTE	347
14.5 Les plaques de cartó guix i les seves prestacions	348
14.6 Els perfils de suport i les solucions constructives més habituals per a les plaques de cartó guix	349
14.7 Anàlisi comparativa entre els envans ceràmics i els de cartó guix ...	351
14.8 Divisòries interiors realitzades amb blocs de vidre	352
14.9 U-glass	353
14.10 Les divisòries per a oficina. Característiques tècniques i constructives	354
14.11 Les portes interiors	357
14.12 Requisits generals per a les portes interiors	358
14.13 Tipus de portes interiors	359
15. Instal·lacions i acabats interiors	365
15.1 La funció de les instal·lacions	365
15.2 Objecte i funció dels acabats	367
15.3 Els paviments	368
15.4 Els falsos sostres	368
15.5 Els revestiments i els aplacats	369
15.6 Els morters monocapa	370
15.7 Pintures	372





Pròleg

Fragment de *l'Elogi del viure*, Joan Maragall (1860-1911)

“Estima el teu ofici, la teva vocació, la teva estrella, allò per a què serveixes, allò en què realment ets un entre els homes. Esforça’t en la teva tasca com si de cada detall que penses, de cada mot que dius, de cada peça que hi poses, de cada cop del teu martell, en depengués la salvació de la humanitat. Car en depèn, creu-me. Si, oblidant-te de tu mateix, fas tot el que pots en el teu treball, fas més que un emperador que regís automàticament els seus estats; fas més que el qui inventa teories universals només per satisfer la seva vanitat, fas més que el polític, que l’agitador, que el qui governa. Pots negligir tot això i l’adobament del món. El món s’arreglaria bé tot sol, només que tothom fes el seu deure amb amor a casa seva.”

Sobre el contingut de *Començar a construir*

Benvolguda lectora o lector, que t’acostes amb curiositat i interès a l’apassionant món de la construcció. El contingut d’aquest llibre té com a objectiu facilitar-te la compressió inicial de tot el procés constructiu, des del projecte, el replantejament i l’execució, fins a l’obra acabada. També conté nocions d’aspectes bàsics indestruïbles del procés constructiu, relatius a la seguretat i a la salut laboral, a la sostenibilitat, a la qualitat, a l’economia i al manteniment.

Igualment, s’hi fa referència, a títol merament informatiu, al marc legal bàsic en què es desenvolupa la construcció al nostre país: la Llei 38/1999, d’ordenació de l’edificació (LOE, publicada al BOE el 6 de novembre de 1999), el Codi tècnic de l’edificació (CTE, publicat pel Reial decret 314/2006) i la Llei del sòl (publicada pel Reial decret legislatiu 2/2008, la darrera actualització de la qual es va publicar el 27 de juny 2013), així com la normativa urbanística i les ordenances d’edificació pròpies de cada municipi.



És fonamental conèixer el marc legal per destriar i valorar, entre molts altres aspectes, els drets i els deures dels diferents agents que intervenen en el procés constructiu.

El contingut d'aquest llibre no pot anar gaire més enllà d'un catàleg temàtic. És com un passadís ple de portes al principi del qual se'n troba el directori, que indica el títol de cada porta i la seva posició al passadís.

El lector podrà arribar a cada una de les portes, obrir-la i fer-se una petita idea del que l'espera a l'interior de cada sala. Per caminar-hi i fer-les casa seva, caldrà ampliar l'àmbit de coneixement per mitjà de bibliografia, enllaços, l'estudi de normativa i/o experiències personals, així com la informació i el coneixement d'altres d'alienes.

La construcció disposa d'un vocabulari molt ric que ajuda els professionals a comunicar-se i a definir amb precisió els conceptes tècnics. Aquests els podeu trobar en els diccionaris específics de construcció.

Finalment, benvolgut lector, et voldria dir que aquest llibre no hauria estat possible sense els coneixements, la dedicació i l'exemple dels professors que m'han format com a estudiant i com a professional. També ha estat decisiva la contribució dels companys que m'han ajudat a estructurar i a desenvolupar-ne els continguts. Tots ells mereixen el nostre més profund agraïment per la seva perseverança en un esforç compartit.

Barcelona, maig de 2015







Aprendre a aprendre. L'àmbit d'actuació. Els primers conceptes

1.1 Una aproximació a l'estructura del coneixement. Aprendre a aprendre. La taxonomia de Bloom

La trajectòria personal i professional de les persones és resultat de la capacitat d'adaptació a diversos processos de canvi, com ara el començament de l'etapa escolar, la conclusió dels estudis secundaris, l'inici dels estudis superiors o la realització d'un màster.

El contingut d'aquest llibre està orientat a facilitar l'adaptació del lector als canvis particulars derivats dels coneixements i de la pràctica de la construcció. L'èxit o el fracàs de l'adaptació de cada persona als canvis depèn, en bona mesura, de la seva pròpia voluntat, però també d'altres factors, molts dels quals ultrapassen l'àmbit individual. Malgrat tot, hi ha aspectes en què una reflexió serena des del coneixement pot ser molt positiva per a la presa de decisions.

Una de les característiques de la nostra societat és l'evolució constant, deguda als canvis provocats per la posada en pràctica, constantment, de nous coneixements i experiències.

Només cal fer una petita ullada reflexiva al passat més proper per fer evidents canvis substantius en la vida quotidiana, en la manera de treballar i de comunicar-se, o en la quantitat i la qualitat dels desplaçaments.

Aquesta situació comporta, en els professionals de tota mena –inclosos els estudiants universitaris–, la necessitat de posar contínuament al dia els seus coneixements per tal de poder donar resposta actualitzada a qüestions de la seva competència.

És imprescindible que el professional estigui aprenent al llarg de tota la seva trajectòria. En el cas dels estudiants, cada curs ha de comportar un canvi qualitatiu important en coneixements i maduresa. És desitjable que el treball que



l'estudiant ha realitzat amb gran esforç durant un curs, al curs següent el vegi obsolet i ple de defectes.

Resulta palesa la necessitat de "saber" aprendre a aprendre. En aquest sentit, és orientador disposar d'estructures que obrin camí i facilitin els processos de captura i de gestió de les noves informacions i coneixements.

Un d'aquests mecanismes és la taxonomia de Bloom. Ajuda a analitzar el procés d'aprenentatge cognitiu estructurant-lo en sis nivells, cadascun dels quals es caracteritza per unes paraules clau, que es poden utilitzar tant en forma directa com de qüestió.

A continuació, se'n resumeix el contingut de forma orientativa. Per ampliar-ne la informació, consulteu: <<http://www.eduteka.org/TaxonomiaBloomCuadro.php3>>.

- **Coneixement.** Quan es fa un aprenentatge determinat, s'utilitzen les experiències prèvies. Fins i tot quan no se'n té cap en aquell aspecte concret, sempre és possible trobar analogies o referències en altres camps de coneixement per començar-hi a fer els primers passos.

Les paraules clau del primer nivell són: qui, què, per què, quan, com...

- **Comprensió.** Adquirir comprensió sobre una àrea de coneixement determinada suposa estar en condicions de demostrar que s'entenen situacions, fets i idees de forma estructurada.

Com a paraules clau del segon nivell, són aplicables els conceptes: comparar, demostrar, contrastar, interpretar, explicar, estendre, il·lustrar...

- **Aplicació.** El nivell d'aplicació permet donar utilitat pràctica als coneixements adquirits per mitjà de la capacitat de resoldre problemes amb vinculació directa amb ells.

Les paraules clau del tercer nivell són: aplicar, construir, escollir, desenvolupar, realitzar...

- **Anàlisi.** És la capacitat d'examinar i fragmentar la informació en parts individualitzades, d'identificar causes i motius i de trobar evidències que permetin, si escau, acceptar generalitzacions. D'entre les paraules clau del quart nivell, es poden citar: analitzar, categoritzar, classificar, comparar, contrastar...

- **Síntesi.** La síntesi respon a l'habilitat de reunir informació de diverses procedències i generar noves formes de relació entre elles.

Les paraules clau del cinquè nivell que defineixen el concepte de síntesi són: compilar, combinar, formular, imaginar...

- **Avaluació.** Es defineix com la facultat d'exposar i sostenir opinions ementent judicis d'opinió sobre el tema o els temes tractats, i validar, si és el



cas, les conclusions extretes d'un treball determinat sobre la base dels criteris establerts.

El sisè nivell té com a paraules clau: premiar, escollir, criticar, decidir, defensar, determinar, disputar...

Coneguts els conceptes que estructuraven el desenvolupament, ara cal aplicar-los, sense solució de continuïtat, a la tasca d'incorporar el coneixement global de la construcció al projecte vital. Tanmateix, convé barrejar-los amb unes bones dosis de capacitat de treball, de tenacitat i, especialment, d'entusiasme.

1.2 Els primers conceptes: arquitectura, construcció i edificació

Aquest apartat té el propòsit d'exposar les característiques diferencials –i, a vegades, convergents– que hi ha entre l'arquitectura, la construcció i l'edificació.

L'**arquitectura** és considerada la primera de les belles arts, ja que reuneix, entre d'altres característiques, estètica, bellesa i utilitat. Avui, a més, és una ciència de caràcter multidisciplinari.

En sentit estricte, l'arquitectura estaria associada exclusivament a la creativitat, al món de les idees i dels conceptes materialitzats per mitjà de models, dibuixos, plànols i escrits.

El conjunt de documents preparats per un arquitecte, per realitzar un edifici determinat, s'anomena projecte, per bé que aquest terme també és aplicable a moltes altres activitats de la ciència i de la indústria.

La **construcció**, orientada a l'arquitectura, és el conjunt de tècniques i procediments que permeten desenvolupar físicament un projecte, per mitjà de la posada en obra dels materials adients, en temps i forma. La qualitat, el preu i el temps són paràmetres aplicables a la construcció i, en general, a tots els processos productius.

Les característiques i les diferències entre arquitectura i construcció s'exposen als apartats precedents sense donar lloc a confusions. Per tant, cal plantejar-se i respondre aquesta pregunta: On radica la dualitat entre arquitectura i construcció?

La resposta es troba en la implicació dels arquitectes projectistes en el procés de construcció, per tal de resoldre, de forma immediata i directa, els problemes d'interpretació del projecte i –per què no dir-ho– col·laborar de primera mà en la correcció de les errades i de les deficiències contingudes en els seus documents. Aquesta situació, d'altra banda necessària, és que el que fon, en el món real, els conceptes d'arquitectura i construcció, tant clarament diferenciats des d'una anàlisi exclusivament teòrica.

L'**edificació**. Malgrat que els termes de construcció i edificació també es confonen i es barregen sovint, ambdós són perfectament identificables. El concepte de construcció es refereix, preferentment, a la tradició associada, en bona me



sura, als oficis, a l'obra grossa i a uns acabats relativament senzills, mentre que l'edificació es refereix a la totalitat dels processos contemporanis derivats de la planificació, l'execució, l' explotació i la desconstrucció d'un o més edificis.

1.3 Els agents de la construcció i de l'edificació

A les obres tradicionals, hi havia un promotor o un propietari que tenia la voluntat i la capacitat econòmica per encarregar i construir un projecte determinat, un constructor al capdavant dels subministraments i del personal d'obra, i un arquitecte o un mestre d'obres en qualitat de responsable del projecte i de la direcció d'obra. Sovint, arquitecte o mestre d'obres i constructor eren la mateixa persona.

Al nostre país, apareix una tercera figura: l'aparellador. La presència d'aquests professionals a les obres es remunta al segle xv. Es tracta d'un ofici tècnic que actua com a auxiliar a l'obra de l'arquitecte i com a organitzador dels processos constructius i de la seva economia, controlant la tasca del constructor.

A partir de 1935, els mestres d'obres desapareixen i pren carta de naturalesa, de forma reglada, la formació i les atribucions dels aparelladors. La situació es manté fins a l'any 1971, en què el títol d'aparellador és substituït pel d'arquitecte tècnic.

Amb la reforma acadèmica anomenada "pla Bolonya", el pla d'estudis d'arquitectura tècnica es potencia i assoleix el nivell de grau universitari. L'any 2009, el Consell d'Universitats va aprovar la memòria d'aquests estudis, en la qual es produïa el canvi de denominació del títol acadèmic d'arquitecte tècnic a enginyer d'edificació.

L'any 2012, l'èxit de la impugnació del títol d'enginyer de l'edificació per part dels col·lectius d'enginyers davant dels tribunals de justícia ha obligat a canviar el nom dels estudis de grau, però no els seus continguts.

Actualment, es dona la paradoxa que el títol de grau, que té com a base el programa lectiu d'enginyeria de l'edificació, varia segons l'escola que l'emet.

A l'Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona (EPSEB), el títol que s'expedeix és el Grau en Ciències i Tecnologies de l'Edificació. Per raó de la confusió que ha generat, s'ha proposat canviar-ne la denominació per la de Grau en Arquitectura Tècnica i Edificació, però cal esperar-ne l'aprovació definitiva.

La LOE vigent actualment estableix els agents de l'edificació següents:

- El promotor, article 9
- El projectista, article 10
- El constructor, article 11
- El director d'obra (DO), article 12
- El director d'execució d'obra (DEO), article 13
- Les entitats i els laboratoris de control de qualitat de l'edificació, article 14
- Els subministradors de productes, article 15



En cada cas, l'articulat defineix les funcions i les obligacions que corresponen a cadascun dels agents.

Com es pot observar, la diferència entre construcció i edificació sorgeix en la mesura que els edificis esdevenen més complexos i les demandes sobre la seva qualitat, més exigents.

En tot cas, el concepte d'*atribucions*, entès com el conjunt d'àmbits de competència de qualsevol persona que tingui un títol acadèmic determinat que les porti associades, ha deixat pas al terme *competències*, el qual està relacionat amb els coneixements i amb la capacitat real per desenvolupar determinades tasques. A tall d'exemple, el fet que, per raó de la possessió d'un títol acadèmic, es disposi d'atribucions professionals per dissenyar una fonamentació amb pilons no pressuposa que l'individu en qüestió tingui els coneixements i l'experiència necessaris per desenvolupar aquest projecte.

1.4 Els valors de la professió

El graduat en Arquitectura Tècnica i Edificació –per utilitzar una denominació de futur i més entenedora que l'actual– ha de ser conscient de la transcendència dels seus actes com a servidor de la societat en primera persona.

Els valors que el graduat ha d'acumular i créixer al llarg de la seva vida professional són de caràcter ètic i deontològic.

Entre els de caràcter ètic:

- Respecte al medi ambient. Suposa exercitar principis de sostenibilitat en el desenvolupament personal i professional, de forma continuada i harmònica.
- Compromís amb les persones i amb la qualitat. Construir és un acte de servei social. Fer-ho de manera deficient, conscientment, suposa traïr-lo i afectar negativament el medi ambient.
- Capacitat per treballar en equip i generar sinergies. La complexitat dels processos constructius actuals exigeix la voluntat integradora de les persones per tal d'assolir objectius comuns d'ampli abast.
- Actuacions en positiu. Cal recolzar-se en els punts forts i minimitzar el que ens afebleix.
- La negociació abans que la imposició. Un acord fruit d'una anàlisi enraonada entre les parts acaba donant millors fruits que les imposicions unilaterals.

Entre els de caràcter deontològic:

- Ser conscients que som hereus, conservadors i transmissors d'una història i d'una tradició que, en l'àmbit de l'arquitectura i de la construcció,



- és mil·lenària. La formació en el coneixement de les noves tècniques no ha d'oblidar les ensenyances i l'enginy de la tradició, i hi ha de conviure.
- Conèixer, valorar i potenciar el nostre patrimoni construït, com a base per intervenir-hi amb garanties de qualitat conceptual tècnica i formal.
- Entendre, valorar i respectar els treballs dels altres, especialment durant la realització d'informes, dictàmens o auditories. Cal ser prudents a l'hora d'expressar opinions que puguin afectar negativament la trajectòria professional.
- Fer un exercici adequat de les competències professionals entenent-les com un compromís ètic.
- Entendre la formació continuada com una necessitat. Viure en una societat sotmesa a canvis socials i tecnològics constants obliga els professionals a estar al corrent de les noves tendències per tal d'exercir la professió en plenitud.

1.5 Els primers objectius del graduat en Arquitectura Tècnica i Edificació

Es poden explicar, adquirir i transmetre coneixements. Adquirir experiència requereix coneixements i temps.

A continuació, es presenten els objectius més rellevants que el futur professional de la construcció s'ha de plantejar amb vista a l'adquisició estructurada de coneixements.

- Identificar els elements, els sistemes i els subsistemes constructius emprant el lèxic propi dels professionals del ram.
- Assimilar les propietats, les característiques i les funcions dels elements constructius.
- Establir i valorar les seves funcions estructurals, funcionals, estètiques i compositives.
- Desenvolupar capacitats per analitzar i valorar el procés i les fases de la construcció i la vida útil d'un edifici, inclosos el seu manteniment i el procés de desconstrucció.
- Relacionar els elements constructius amb els materials i amb els processos òptims per dur-los a terme.
- Valorar i aplicar, com a parts fonamentals de l'aprenentatge, els aspectes relacionats amb la sostenibilitat i de respecte al medi ambient.
- Incorporar els sistemes de representació i de gestió del procés constructiu, d'una manera especial els implementats a través del **building information modeling** (BIM).



- Integrar competències transversals com a elements potenciadors de les capacitats cognitives: lideratge, capacitat d'expressió, idiomes...

1.6 La construcció del projecte arquitectònic

A continuació, s'exposen, de forma esquemàtica, uns quants conceptes bàsics de caràcter genèric, aplicables a la relació necessària entre el projecte arquitectònic i la construcció. Es vol oferir una visió de conjunt d'aquests conceptes abans de comentar-los de manera detallada.

- El projecte com a primera matèria de la construcció
 - El clima, l'orientació i l'entorn
 - Topografia i geotècnia
 - Paràmetres urbanístics
- L'addició
- Reducció, repetició i modulació
- Els recursos del projectista: eixos, mòduls, traçats reguladors
- Els models

1.6.1. El projecte com a primera matèria de la construcció

Construir un edifici d'una certa entitat:

- És una tasca complexa.
- No es pot improvisar si es vol obtenir un producte de qualitat.
- Ha de donar resposta a molts requeriments.
- Cal fer-ho en un temps establert i a un cost ajustat prèviament.

Per donar una resposta adequada a aquestes premisses, cal disposar d'un projecte executiu en el qual s'especifiquin, de forma clara i precisa:

- Les dimensions físiques de l'edifici i la seva configuració espacial (plànols d'arquitectura i dels detalls constructius, de fusteria i de serralleria)
- Els fonaments, les contencions i les estructures previstes (plànols d'estructura)
- Els materials i els sistemes constructius que s'han d'emprar i les seves quantitats (estat d'amidaments)
- La previsió d'instal·lacions amb el traçat de les seves xarxes (plànols d'instal·lacions)



- La justificació del compliment normatiu urbanístic i tècnic (memòria amb apartats de caràcter descriptiu, justificatiu i tècnic)
- La previsió de la temporalitat de les diferents activitats i partides d'obra, (cronograma i, posteriorment, *planning* detallat)
- Els criteris d'acceptació i de rebuig de les diferents partides (plec de condicions)
- L'organització general de l'obra: tanques, accessos i circulacions, ubicació de serveis (a càrrec del constructor)
- El cost previst per a cada partida (pressupost)

En conjunt, un projecte executiu consta de la memòria, el plec de condicions, l'estat d'amidaments, el pressupost i els plànols.

Abans de disposar del projecte executiu, el projectista o l'equip de projectistes desenvolupen diversos estudis de viabilitat econòmica i tècnica i avantprojectes que, per mitjà del debat amb el promotor i de les consultes efectuades als serveis tècnics d'urbanisme del municipi, rectifiquen i adapten fins a aconseguir un avantprojecte ajustat a les necessitats.

A partir de l'avantprojecte, es realitza el *projecte bàsic*. El projecte bàsic, a diferència del projecte executiu, conté exclusivament la informació necessària per obtenir la llicència d'obres. En la seva documentació, es justifica el compliment de la normativa urbanística i dels aspectes relacionats amb els espais físics per tal de garantir la seguretat d'ús i contra incendis, i l'isolament tèrmic i acústic.

La incorporació d'eines de BIM en el procés constructiu en general, i en el procés de disseny en particular, permet realitzar models paramètrics dels edificis, que els representen com a realitat virtual.

Els canvis realitzats sobre el model tenen una incidència immediata sobre la representació gràfica i totes les altres dades relacionades paramètricament, sense haver de fer modificacions a mà a cadascú dels documents afectats del projecte.

A partir del model paramètric, és possible exportar dades alfanumèriques a d'altres programes per a la seva anàlisi i gestió posterior, si escau.

El BIM no redueix temps en la redacció del projecte. El seu gran valor afegit és que, durant l'execució de l'obra, minimitza els conflictes deguts a errors o a indefinicions.

1.6.2. El clima, l'orientació i l'entorn

El clima, l'orientació i l'entorn són aspectes fonamentals que cal tenir en compte en el procés de disseny.

El **clima** incideix, de forma directa, en aspectes que tenen repercussió formal i tècnica, com ara el color de les façanes, l'elecció del tipus de coberta, la presèn-



cia de ràfecs, la composició i els gruixos dels tancaments, les dimensions i la disposició de les obertures o l'existència de proteccions addicionals, com persianes, porticons, *brise-soleils*, porxos i marquesines.

La foto inferior esquerra correspon a una casa eivissenca; la de la dreta, a un *caserío* basc. Les diferències climàtiques entre ambdues regions es manifesta, de forma palesa, en la seva arquitectura. Una anàlisi més aprofundida permetria establir l'orientació més adequada de les seves dependències, com es detalla a continuació.



L'**orientació** correcta d'un edifici incideix en la seva funcionalitat i el seu confort. Així, les activitats que requereixen llum natural per al seu desenvolupament obtenen les millors prestacions amb orientacions al nord. L'orientació preferent per als dormitoris és a l'est, pel fet de disposar del sol del matí. Les orientacions al sud són les que s'adeqüen millor a les zones d'estar i de lleure, perquè el sol hi és constantment present al llarg del dia.

A les zones urbanes amb alineacions de vial, el compliment dels preceptes d'orientació esmentats passa a un segon terme, davant la rigidesa que el model imposa respecte a la disposició de les façanes de l'edifici.

L'**entorn** és un factor d'orientació del disseny. Aquest pot optar entre diverses vies: des de la integració més o menys mimètica i no sempre afortunada fins al contrast més exacerbat.

La fotografia esquerra de la pàgina següent correspon al municipi de Bolvir (la Cerdanya). Aquest va experimentar un gran creixement turístic, especialment a partir dels anys vuitanta del segle passat. El fet d'obligar a emprar, en les noves construccions, materials tradicionals; no permetre edificar en altura, i acotar les agrupacions d'edificis es tradueix en una imatge harmònica del seu conjunt urbà.

La fotografia dreta de la pàgina següent mostra la seu del Col·legi d'Arquitectes de Catalunya a Barcelona, que es va construir entre 1958 i 1962. En aquells moments, va provocar una forta controvèrsia, per la presència dels frisos de Picasso i el contrast de les seves formes respecte de l'entorn medieval i els edificis del nucli antic de Barcelona. Actualment, la construcció està plenament integrada a l'entorn gràcies a les seves qualitats intrínseques.



1.6.3. Topografia i geotècnia

La topografia i la geotècnia es consideren de forma conjunta perquè ambdues disciplines tenen en comú el sòl.

Topografia. La topografia té per objectiu efectuar models de representació d'àrees específiques de la superfície terrestre. La utilitat dels models topogràfics és molt variada. En general, s'orienten a estimar les superfícies i els volums de terres necessaris per realitzar una obra determinada.

En el seu estat natural, el sòl presenta pendents i irregularitats en graus diversos. En funció de les necessitats i dels plantejaments de projecte, aquests es poden resoldre amb un ampli ventall de possibilitats.

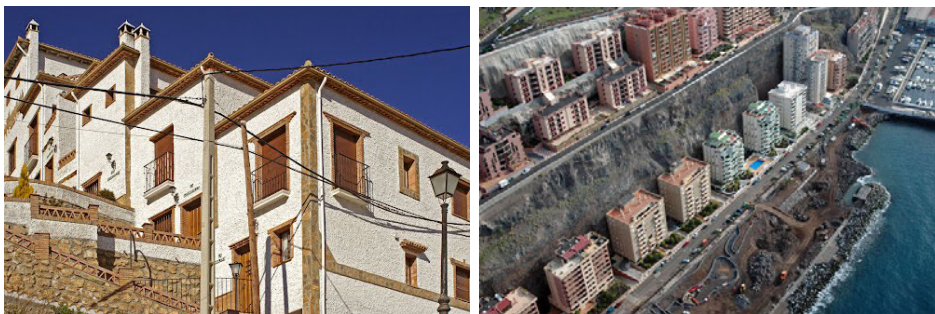
Un dels aspectes que el projecte executiu ha de resoldre és l'encaix entre l'edifici i el sòl; per a això, cal disposar d'un plànol topogràfic amb corbes de nivell o cotes que permetin definir l'altimetria del terreny objecte d'estudi i, si escau, integrar-lo en un model de BIM.

A partir de la dualitat sòl-edifici, es poden traçar plantes i seccions, per dur a terme la construcció de forma integrada. Per obtenir-ne un bon resultat, cal cercar l'equilibri entre les necessitats de l'edifici i les transformacions que cal fer al sòl per acollir-lo

Geotècnia. La geotècnia és una branca de la geologia que estudia el comportament mecànic que es pot esperar d'un sòl dins d'un àmbit físic relativament restringit, que correspon habitualment al d'implantació d'un edifici.

Conèixer el sòl per mitjà d'un estudi geotècnic permet decidir sobre la tipologia o les tipologies constructives més adequades per realitzar els fonaments i les contencions més ajustades a un determinat tipus d'edifici i, en conseqüència, incideix en el disseny dels detalls constructius del projecte executiu.

Les dues fotografies següents mostren dos casos de topografia extrema. A la fotografia inferior esquerra, es veuen les cases del municipi de Freila (Granada), construïdes escalonadament per tal d'adaptar-se al pendent natural del sòl. A la de la dreta, corresponent a la zona de Radazul (Tenerife), es poden apreciar els talls realitzats al penya-segat per disposar de plataformes on situar els edificis.



1.6.4. Paràmetres urbanístics

L'urbanisme respon a un conjunt ampli de ciències –pures, socials, polítiques i tècniques–, basades en l'arquitectura i orientades a estructurar i a controlar els creixements territorials i urbans. L'urbanisme comprèn des de la planificació a gran escala, al nivell de regió o de país, fins a projectes urbans.

Els conceptes anteriors atorguen una gran complexitat a aquesta disciplina. Dominar-ne els recursos tècnics requereix anys d'estudi i de pràctica. Aquest fet no exclou la conveniència que els professionals que es volen iniciar en el món de la construcció la coneguin, encara que sigui de manera superficial. Les línies següents estan orientades a servir de petita introducció.

Habitualment, el marc de referència de l'urbanisme vinculat als aspectes de l'edificació se circumscriu a l'àmbit municipal i es desenvolupa per mitjà dels anomenats "plans generals," que disposen de documentació gràfica i de documentació escrita.

En termes generals, la documentació gràfica classifica el sòl en tres grans zones: sòl urbà, sòl urbanitzable i sòl no urbanitzable, en funció d'uns paràmetres objectius, i estableix, si és el cas, els nous traçats viaris, les reserves de sòl i les afectacions que aquests comporten.

La documentació escrita especifica els usos compatibles, incompatibles i tolerats a cada zona i subzona, que s'identifiquen per mitjà de claus alfanumèriques conegudes com a "claus urbanístiques"

El planejament, un cop aprovat definitivament, té el caràcter de llei i, per tant, les seves prescripcions obliguen tant l'administració com l'administrat.

El desenvolupament específic de cadascuna de les claus urbanístiques es realitza per mitjà dels anomenats "paràmetres urbanístics," que varien en funció de les necessitats de cada zona i del tipus d'ordenació. En el cas de l'edificació aïllada de caràcter unifamiliar o plurifamiliar, s'acostumen a definir, com a mínim, els valors següents:

- Nombre màxim d'habitatges per ha
- Superfície mínima de la parcel·la, en m²
- Façana i fondària mínimes de la parcel·la, en m
- Separacions als llindars, al carrer, als laterals i al fons de la parcel·la, en m
- Ocupació màxima de la parcel·la en planta, en %



- Edificabilitat màxima en metres quadrats de sostre per metre quadrat de sòl ($m^2s/m^2sòl$). El producte de la superfície de la parcel·la pel coeficient d'edificabilitat equival al màxim de superfície edificada, en m^2 , que admet una parcel·la determinada.
- Alçada reguladora màxima (ARM), en m, i el seu equivalent en nombre de plantes (per exemple, una ARM de 9,15 m equival a una planta baixa i dos plantes pis).

Actualment, molts dels municipis més rellevants tenen penjada a la xarxa la informació dels seus plans generals, la qual cosa en facilita la consulta i la comparació.

1.7 L'addició

Com a concepte constructiu, l'addició respon a la realització d'elements de gran format, com murs, pilars o voltes, per mitjà de components de petit format, més fàcils de manipular. És el cas de les anomenades *fàbriques*, realitzades a partir de carreus, carreuons, pedres de maçoneria, toves o maons.

Les fàbriques realitzades sense cap mena d'aglomerant s'anomenen "en sec". Per tal de millorar-ne la cohesió i resistència, s'utilitzen morters, formats habitualment per un aglomerant i sorra.

Les fàbriques es caracteritzen pel seu aparell, entenent com a tal la distribució espacial de les peces que les conformen per addició. Els aparells tenen per objecte aconseguir un màxim de trava i millorar així la resistència del conjunt.

La fotografia inferior esquerra mostra l'addició d'un totxo durant la construcció d'una paret. La fotografia de la dreta permet apreciar el resultat, en forma d'edifici, d'un procés d'addició realitzat amb obra vista. Es l'anomenat "Castell dels Tres Dragons", obra de Lluís Domènech i Montaner (1850-1923). Inicialment, fou construït com a cafè i restaurant per a l'Exposició Universal de Barcelona 1888, mentre que actualment és la seu del Museu de Zoologia.



El concepte d'addició "per via humida", per mitjà d'aglomerants, que és la base de l'anomenada *construcció tradicional*, realitzada amb parets de totxo, va cedint pas a processos més propers a la indústria, com la prefabricació i el muntatge en obra, coneguts com a "via seca".



Els avantatges de la via seca respecte de la via humida són diversos. Entre ells:

- Reducció de residus
- Més eficiència en temps i en diners
- Millor qualitat de la superfície
- Menors toleràncies dimensionals

1.8 Reducció, repetició i modulació

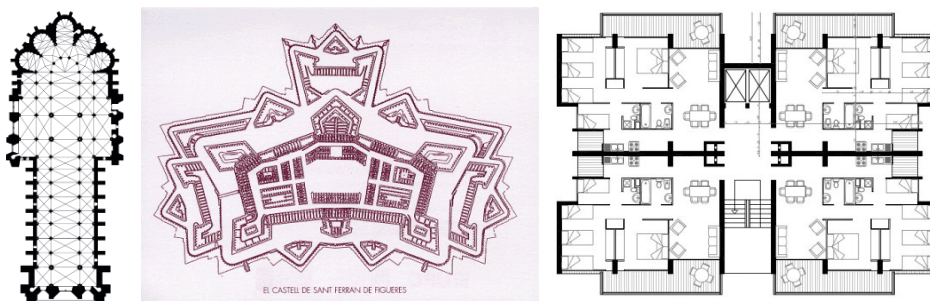
Les activitats productives responen a criteris de competència i de racionalització per tal de reduir els temps i els costos d'execució sense afectar-ne la qualitat.

Des de molt antic, els constructors es van adonar dels avantatges de tota mena que suposava reduir un gran edifici a la suma de cossos, els quals, al seu torn, es podien descompondre en subcossos i aquests, en un nombre determinat d'elements iguals entre si.

La suma dels conceptes de reducció i de repetició queda reflectida, en la creació d'edificis, amb la repetició d'un nombre reduït mòduls i la generació geomètrica i constructiva d'aquests mòduls per mitjà de sistemes de proporció.

Les tres fotografies inferiors corresponen a edificis d'èpoques i usos ben distints i, en canvi, tenen en comú la voluntat dels projectistes de simplificar-ne i racionalitzar-ne la construcció per mitjà de reduccions i de repeticions que condueixen a la modulació dels espais i, en definitiva, a facilitar el procés constructiu.

La fotografia de la dreta correspon a la planta de la catedral de Reims (segle XIII); la central, a la planta del castell de Sant Ferran a Figueres (segle XVIII), i la de la dreta, a un bloc residencial contemporani de tipus torre, en que els quatre habitatges de la planta són idèntics.



1.9 Altres recursos del projectista-constructor: eixos i traçats reguladors

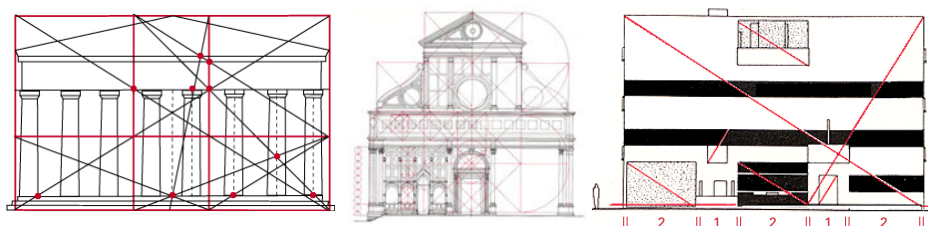
La reflexió sobre els aspectes derivats dels conceptes de reducció i de repetició condueix a la depuració dels models emprant, a més de la modulació i de la proporció, d'altres recursos, com els eixos auxiliars i de simetria, com també els

traçats reguladors amb capacitat d'unificar disseny i càlcul dins dels paràmetres dimensionals i formals de la construcció empírica.

Aquesta forma de procedir, sorgida de la racionalitat imposada per la limitació de mitjans tècnics, va resultar particularment útil durant l'ample període històric de la construcció empírica. En plena vigència de la construcció tecnològica, els eixos i els traçats reguladors, convenientment matisats, se segueixen emprant avui per organitzar la composició d'edificis i d'espais urbans.

L'empirisme en la construcció s'estén des de les civilitzacions mesopotàmiques fins a mitjan segle XVIII, en què s'inicià el desenvolupament científic, el qual, per mitjà d'algoritmes, permetrà analitzar i preveure el comportament estructural dels materials de construcció, entre d'altres aspectes.

Les tres imatges inferiors constitueixen un exemple de l'aplicació dels traçats reguladors al llarg de la història. A l'esquerra, es mostra un esquema de proporcions del Partenó (447-432 a. de C.); al centre, el traçat regulador de la façana de l'església de Santa Maria Novella de Florència, acabada l'any 1470 per Leon Battista Alberti (1404-1472); a la dreta, les proporcions de la façana de la Villa Stein a Garches, construïda l'any 1927 per Le Corbusier (1887-1965).



En tots tres casos, el rigor geomètric i la proporció es converteixen en elements de disseny per tal de garantir l'equilibri i l'harmonia visual i estructural de la construcció.

1.10 Els models

Els models han estat la base del desenvolupament, tant utilitari com tecnològic, de la dualitat arquitectura-construcció al llarg de la història. Els models es generen per donar dos tipus de resposta:

- A les necessitats de configuració espacial d'un ús o d'una funció determinats
- Als materials i a les tècniques que s'apliquen en la seva construcció.

Ambdós paràmetres de partida han variat les seves premisses en funció de l'època, cosa que ha motivat l'evolució dels models. A tall d'exemple, els castells medievals es transformen, al llarg del temps, en fortaleses per fer front als avenços de l'artilleria, o bé les cases unifamiliars, pròpies dels pobles, es transformen en habitatges col·lectius a les ciutats i creixen en alçada.

La millora de la capacitat resistent dels materials ha permès construir edificis més grans, amb més prestacions i en menys temps. Per contraposició, cal considerar que els models constructius no poden créixer indefinidament, atès que,



mentre les seccions creixen segons una funció exponencial de segon grau, els pesos creixen seguint una funció exponencial de tercer grau, raó per la qual els models estructurals s'esgoten ràpidament.

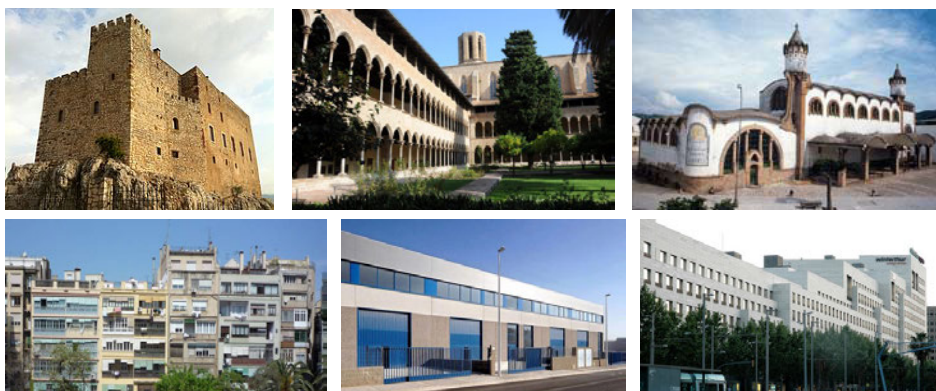
Les solucions que la construcció ha adoptat al llarg de la història per fer front a l'esgotament dels models han estat:

- El canvi de model. Per exemple: l'evolució de les voltes de canó romàniques a les voltes nervades gòtiques va permetre duplicar l'amplada de les naus de les esglésies.
- El canvi de material. Per exemple: el fet de passar d'una estructura de parets de pedra a una estructura metàl·lica va permetre desenvolupar els edificis en alçada.
- El canvi de model i de material. Per exemple: proposar una membrana suportada per una malla espacial en comptes d'una closca de formigó permet reduir el temps i els costos d'execució, i minimitzar l'impacte ambiental.

Així mateix, la utilització de models ha contribuït a racionalitzar els processos de construcció per mitjà de l'aprofitament de les experiències prèvies.

Actualment, es disposa de models constructius patrimonials i de darrera generació que s'adapten a totes les activitats humanes: militars, religioses, agrícoles, civils i industrials. Com a exemples, les fotografies de la inferiors mostren, d'esquerra a dreta i de dalt a baix, el castell del Papiol, el monestir de Pedralbes de Barcelona, la cooperativa agrícola de Gandesa, les façanes interiors d'una illa de l'Eixample de Barcelona, unes naus industrials de construcció prefabricada i, en el context de l'arquitectura civil no residencial, l'Illa Diagonal, edifici terciari polifuncional que és el resultat de la fusió d'un edifici d'oficines i d'un centre comercial amb un gran aparcament subterrani.

Quan es van construir, cadascun dels edificis exemplificats satisfia unes necessitats concretes. Avui, tots tenen un ús que posa de manifest que el seu testimoni i valor patrimonial, la seva qualitat constructiva i la capacitat d'adaptació als temps constitueixen valors segurs per aconseguir materialitzar un bon edifici.





Els models constructius impliquen, inicialment, creativitat i recerca de noves solucions constructives.

La recerca i la creativitat condueixen a la consolidació del model. Posteriorment, es dona pas a un període de plenitud en què el model registra el seu màxim desenvolupament estètic i tecnològic.

Finalment, s'esdevé un espai temporal d'esgotament que acaba en decadència. Durant aquest període, no es produeixen noves aportacions; els recursos estètics, en forma de decoracions ostentoses, s'encarreguen d'amagar la decrepitud del model fins que aquest és abandonat definitivament i substituït per un de nou.

Aquesta darrera etapa és coneguda com a manierisme, perquè es tracta de construir "a la manera de", com a garantia d'èxit, sense valorar adequadament els canvis que el transcurs del temps ha imposat.

1.11 El patrimoni construït. La necessitat de conèixer-lo

La construcció que es realitza actualment, els seus processos, les seves tècniques constructives i els seus mitjans auxiliars són fruit de:

- La depuració d'aspectes que han mostrat la seva validesa de forma perdurable
- L'abandonament dels processos obsolets
- La creació d'altres de nous, adaptats a les necessitats del seu temps

El patrimoni construït integra valors estètics, referencials, simbòlics i testimonials. Es poden resumir com el respecte i la consideració pel passat, aspectes en què està –o hauria d'estar– implicada tota la societat.

El coneixement del patrimoni construït és una font més d'enriquiment de la sensibilitat personal i de cultura, com també ho poden ser la música, la literatura, la filosofia o la pintura, entre d'altres. La pluralitat és enriquidora en establir nexes d'unió entre aspectes i disciplines diversos, com la història i la construcció.

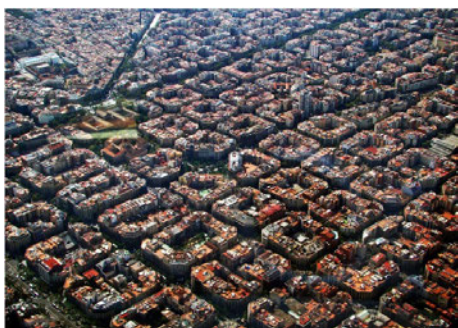
El concepte de *patrimoni construït* és el resultat d'una evolució extensiva de la paraula *monument* a què es fa referència per destacar un edifici extraordinari o singular per raó de la seva rellevància històrica o arquitectònica.

La capacitat d'estendre i de protegir el patrimoni construït està en consonància amb la disponibilitat econòmica de cada societat i amb la constatació que resulta rendible invertir en la conservació dels edificis patrimonials.

A tall d'exemple, es consideren com a patrimoni construït conjunts d'edificis, com els de l'Eixample de Barcelona (fotografia inferior esquerra), perquè contribueixen a preservar una imatge de ciutat. També es dona valor patrimonial i nous usos a les colònies industrials i a les fàbriques, com a testimonis d'un



passat recent. La fotografia de la dreta mostra l'antiga fàbrica de Ca l'Aranyó, que recentment s'ha reconvertit en la seu del Campus de la Comunicació de la Universitat Pompeu Fabra.



Siguin quins siguin el seu perfil, aptituds i coneixements, un bon professional de la construcció no pot al·legar desconeixement total del patrimoni construït, ja que això equivaldria a proclamar la seva mutilació intel·lectual i tècnica.

Els professionals de la construcció tenen, d'acord amb les seves competències, una responsabilitat més gran que la resta de conciutadans envers el patrimoni construït. Són els hereus directes de les tradicions constructives del seu país i, en determinades circumstàncies, els seus conservadors i els difusors.

Atendre adequadament les responsabilitats esmentades requereix, a banda de l'estudi dels aspectes històrics, documentals i tècnics, trepitjar el terreny per conèixer i analitzar de primera mà els procediments i les tècniques constructives emprades en un edifici concret, segons l'època o les èpoques de la seva creació i desenvolupament.

Primer, cal explorar el patrimoni construït més proper (el de la nostra ciutat, el del nostre entorn geogràfic, el del nostre país...) i, en la mesura de les possibilitats, anar estenent el cercle amb àmbits geogràfics cada vegada més amplis.

Un cop obtingut un coneixement generalista, el pas següent és especialitzar-se en uns determinats models constructius, en una època o en un àmbit geogràfic concrets.

Només des del coneixement profund dels aspectes detallats, acreditats i consolidats en el perfil professional, s'hauria de poder actuar sobre el patrimoni construït. La fragilitat física i conceptual de determinats edificis patrimonials requereix garanties extremes de rigor històric, científic i tècnic.

Qui senti interès per intervenir en el patrimoni construït ha de fer propis els conceptes esmentats i aplicar-los reiteradament, des de les primeres experiències de la formació acadèmica fins al final de la seva pràctica professional.



1.12 L'estudi analític de la construcció

Construir un edifici de forma eficient comporta seguir un procés estructurat, dins el binomi espai-temps, d'acord amb els requeriments del procediment o dels procediments constructius que s'hagin adoptat en el projecte executiu.

L'estudi analític de la construcció es basa en una estructura arbòria que permet destriar sistemes, subsistemes i elements constructius, i assignar a cadascun d'ells característiques, funcions i relacions amb les altres branques. Així doncs, les branques principals són els sistemes constructius; les branques secundàries, els subsistemes constructius, i les fulles, els elements constructius.

A continuació, s'enumeren els sistemes i els subsistemes més usuals en l'edificació i se'n fan breus comentaris introductoris, que s'ampliaran al llarg dels capítols següents.

- **Sistema estructural.**
 - Subsistemes
 - Fonaments
 - Contencions
 - Sostres
 - Suports
- **Sistema de tancaments.**
 - Subsistemes
 - Cobertes i impermeabilitzacions
 - Façanes
 - Divisòries
- **Sistema d'instal·lacions.**
 - Subsistemes
 - Sanejament
 - Aigua
 - Gas
 - Electricitat
 - Prevenció d'incendis
 - Ventilació
 - Ascensors
 - Calefacció
 - Aire condicionat
 - Telecomunicacions
 - Energies alternatives
 - Alarmes
- **Sistema d'acabats.**
 - Subsistemes
 - Paviments
 - Falsos sostres
 - Revestiments i aplacats
 - Pintura



1.13 Sobre el sistema estructural i els seus principis

La funció de les estructures d'edificació es conduir fins al sòl les accions de tota mena que hi incideixen, o hi poden incidir eventualment, en les degudes condicions de seguretat i durabilitat.

El sòl té una capacitat portant entre deu i mil vegades inferior a la de les estructures d'edificació, en funció del tipus d'estructura i del material. Aquest fet fa necessari crear un subsistema d'interposició, a vegades força complex, entre l'estructura i el sòl, per tal que la transmissió d'esforços es realitzi de forma correcta.

Siguin quins siguin el sistema constructiu emprat o els seus materials constituents, les estructures, per acomplir la seva funció, responen a una sèrie de principis comuns:

- De jerarquia
- De continuïtat
- De vinculació
- De compatibilitat

1.13.1 El principi de jerarquia

Les estructures responen a les accions a què estan sotmeses de forma especialitzada. Sobre la base d'aquest concepte, i a manera d'exemple, els sostres treballen preferentment a flexió, mentre que els pilars i els murs ho fan a flexo-compensió, tot absorbint els esforços tramesos pels sostres.

En el cas dels sostres, els elements d'entrebigat es recolzen sobre les biguetes, les quals, al seu torn, descansen sobre jàsseres.

Per tant, s'estableix un principi de jerarquia entre els diferents elements que conformen l'estructura. El seu coneixement ha permès desenvolupar diversos models estructurals, com també identificar, valorar i discretitzar les accions a què estan sotmesos els diferents elements constituents d'una estructura i, en conseqüència, dimensionar-los.

La fotografia de la pàgina següent esquerra mostra una estructura prefabricada de formigó armat en què es pot apreciar la jerarquia entre els diferents elements que la componen –biguetes, jàsseres i pilars. La fotografia de la dreta respon al mateix esquema estructural resolt amb fusta laminada, combinada amb pilars de fusta i metàl·lics, aquests darrers travats amb un perfil metàl·lic.

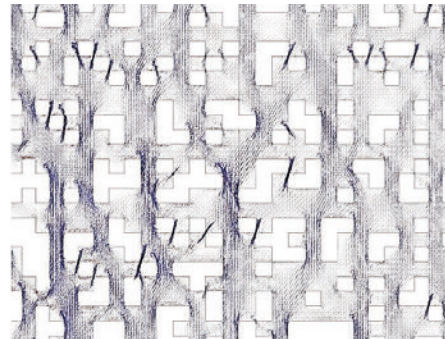
1.13.2. El principi de continuïtat

Les accions que actuen sobre una estructura es poden assimilar a un fluid, que des del punt de contacte ha de poder arribar de la forma més clara i racional possible al sòl. Aquest principi imposa la necessitat que les estructures, amb independència dels models i dels materials constitutius, tinguin continuïtat física.



La continuïtat física entre els diferents elements estructurals es produeix en els nusos, amb diferents condicions de contacte. Les condicions de contacte entre els nusos estructurals s'analitzen en tractar del principi de vinculació.

La fotografia de l'esquerra següent mostra una estructura de formigó armat en la qual es pot apreciar la continuïtat dels pilars al llarg de totes les plantes. La fotografia de la dreta mostra les línies de flux de tensions a la pell de la Torre Agbar, solució estructural atípica però que manté, malgrat les irregularitats en la disposició dels forats, el principi de continuïtat.



1.13.3. El principi de vinculació

En edificació, les accions gravitatòries i la massa tenen una gran incidència. Aquesta situació permet que, en les estructures de l'edificació, es puguin donar tres tipus de vinculació o nusos entre els seus elements. Són aquests, ordenats de menor a major vinculació entre els elements:

- **El recolzament simple.** Aquest es discretitza sobre la base d'una reacció davant les accions gravitatòries. S'exemplifica a la fotografia de la pàgina següent.
- **La ròtula**, també anomenada *articulació*. Disposa de capacitat de reacció vertical i horitzontal. La fotografia central mostra una ròtula preparada per servir de transició entre un arc de fusta laminada encolada i el fonament. L'esforç inclinat és absorbit en passar per la ròtula i es pot descompondre per mitjà d'una reacció vertical i una d'horitzontal



- **L'encastament** o nus rígid. A més de la capacitat d'absorbir esforços verticals i horitzontals, l'encastament té la capacitat d'absorbir moments. La fotografia inferior dreta mostra una estructura porticada de formigó armat en què els encontres dels pilars amb les jàsseres constitueixen nusos rígids.



1.13.4. El principi de compatibilitat

Al llarg de la seva vida útil, les estructures estan sotmeses a tres tipus d'accions:

- **Permanents.** Són les que actuen contínuament en posició i en càrrega constant. Es tracta, fonamentalment, d'accions gravitatòries degudes al pes propi de l'estructura i dels elements que hi estan fixats, de forma permanent. Dins de les càrregues permanents, també es poden considerar les empentes sobre les contencions.
- **Accions variables.** La seva incidència sobre l'estructura no és constant en el temps però, a efectes pràctics de càlcul, cal considerar-les com a permanents. Són exemple d'aquest tipus d'accions les sobre-càrregues d'ús, de vent o de neu, i les accions higrotèrmiques. La fotografia inferior esquerra mostra una coberta amb un gruix considerable de neu.
- **Accions accidentals.** Hi ha poca o molt poca probabilitat que es donin en el temps, però poden tenir molta transcendència per la seva magnitud. És el cas de les accions sísmiques, d'incendi, d'impacte o d'explosió. Enfront d'aquestes accions, davant la impossibilitat de garantir al 100 % la seguretat, des del disseny s'adopten mesures de prevenció, tant actives com passives. La fotografia inferior central mostra l'efecte d'un sisme. Si bé l'edifici n'ha resultat afectat greument, en bona part s'ha mantingut sencer. La fotografia de la dreta mostra l'efecte d'un foc.





Les accions descrites, juntament amb les de caràcter higrotèrmic, generen deformacions sobre l'estructura que es manifesten en forma de fletxes, pèrdues de verticalitat, torsions, etc. Cal establir-hi límits per tal que els elements portats que es recolzen en l'estructura no se'n vegin afectats.

De forma genèrica, s'estableixen com a deformacions de compatibilitat als edificis corrents les inferiors a $1/500$ de la llum. Les deformacions d' $1/300$ de la llum comporten l'aparició d'esquerdes en els tancaments lleugers. I, si augmenten fins a $1/200$ de la llum, les esquerdes es manifesten de forma generalitzada. Es tracta d'una situació límit en què la reparació encara pot ser viable. En canvi, si les deformacions superen l' $1/150$ de la llum, la gravetat de les lesions que comporten fa recomanable enderrocar l'edifici afectat.

La compatibilitat entre els elements portants i els portats davant d'accions de caràcter higrotèrmic es resol fragmentant el conjunt edificatori per mitjà de juntes de dilatació, a distàncies inferiors als 30 m. Alguns tancaments, com ara la fàbrica de totxo, requereixen com a mesura addicional la disposició de juntes de treball a distàncies inferiors als 15 m.



→ 2



Sobre els materials de construcció

2.1 Introducció

Al capítol anterior, s'ha fet referència al projecte com a primera matèria de la construcció. L'afirmació es basa en el fet que les accions necessàries per construir són actes conscients i, per realitzar-los, cal un pensament previ que els orienti i estructurari. El pensament es materialitza de manera formal en el projecte. S'aconsegueix així una font d'informació comuna per a tots els participants en la execució (el desenvolupament) de l'obra.

El desenvolupament d'un projecte d'edificació és el resultat de l'actuació d'equips pluridisciplinaris, estructurats al voltant de conceptes de BIM.

Construir físicament un edifici d'acord amb les prescripcions del projecte i adoptar les mesures necessàries per garantir-ne el funcionament i el manteniment correctes suposa, a més, un acte de voluntat que consisteix a posar a disposició del bon fi del projecte els mitjans materials, humans i econòmics necessaris per dur-lo a terme.

En aquest apartat, es reflexiona sobre els materials que són aptes per a la construcció a partir de la seva caracterització, i també en funció de paràmetres de caràcter físic i sensible.

El coneixement estructurat d'aquests dos conceptes permet orientar el procés sempre complex de triar els materials que han d'acabar conformant un edifici racional, segur, eficient, durable, fàcil de mantenir, estèticament agradable i relativament econòmic, per citar-ne els requeriments més rellevants.

2.2 Caracterització dels materials de construcció

Per tal d'estudiar-los, els materials de construcció es poden caracteritzar de maneres molt diverses. En aquest treball, se n'estableixen dues caracteritzacions:



- La primera distingeix entre materials naturals i materials artificials.
- La segona caracterització separa els materials amorfs o modelables d'aquells que disposen de mesures preestablertes, anomenats materials conformats.

A partir de les dues caracteritzacions precedents, es tenen quatre grans grups de materials:

- Naturals amorfs o modelables
Naturals conformats
Artificials amorfs o modelables
Artificials conformats

2.2.1. Materials naturals

Els materials naturals són aquells que es col·loquen o es poden col·locar a l'obra sense fer-hi cap transformació o molt poca. Els més comuns són:

- Argila. Base de les fàbriques de tova i de tàpia.
- Àrids. Components de morters i formigons.
- Pedres sense tallar, pedres tallades, pedres polides i plaques. Base de fàbriques i d'acabats.
- Fusta. Material amb gran diversitat d'espècies que el fan apte per als usos més variats: construcció auxiliar, estructural, tancaments, paviments, revestiments...

2.2.2. Materials artificials

Els materials artificials s'obtenen a les factories per mitjà de processos industrials més o menys complexos. En ells, es produeix la transformació d'una primera matèria, o més d'una, en diferents proporcions, amb la finalitat de disposar de nous productes que tinguin les propietats mecàniques i tècniques idònies per a determinades finalitats.

Els materials artificials que s'apliquen a la construcció són una gran diversitat de productes que creix dia a dia. Sense pretensió d'exhaustivitat, els més habituals són:

- Conglomerants: calç, guix, ciment natural, ciment pòrtland, ciment cola, asfàltics...
- Paviments de tota mena, de base orgànica i inorgànica
- Ceràmica en totes les seves variants: totxos, plaques, sanitaris...
- Impermeabilitzants: materials bituminosos, butílics, plàstics...



- Isolants tèrmics: llana mineral, llana de fibra de vidre, escuma de poliuretà, poliestirè extruït i expandit, cel·lulosa...
- Transformats i derivats de la fusta: taulers, fusta laminada encolada, paper...
- Metalls: acer, acer inoxidable, acer Corten, coure, alumini, titani...
- Plàstics: PVC, vinil, poliestirè, melamina, silicones...
- Vidres: bufats, laminats, reflectants, dobles, de seguretat, acolorits...
- Pintures i revestiments: a la cola, al plàstic, de resines, silicats, vernissos, esmalts, morters monocapa...

2.2.3. Materials amorfs o modelables

Els materials amorfs o modelables són aquells que almenys durant la fase de preparació no tenen una forma definida. S'adapten al recipient que els conté o, segons la seva textura i viscositat, es poden quedar adherits sobre un parament.

Els materials de construcció amorfs que s'utilitzen més sovint són els conglomerants. Es poden aplicar per abocament per gravetat o per projecció. Els conglomerants tenen la capacitat d'endurir-se i d'aglutinar i unir diversos materials per mitjà de reaccions químiques de difícil reversibilitat i, per tant, són més estables en el temps.

Els conglomerats que s'empren tradicionalment en la construcció són materials inorgànics d'aspecte pulverulent. En barrejar-los amb aigua (amassar-los) en les proporcions adequades, esdevenen plàstics i s'adapten amb facilitat a les formes més diverses, raó per la qual poden ser emmotllats per obtenir-ne peces prefabricades.

Amb base en els conglomerants, es poden preparar tres grans grups de materials: les pastes, els morters i els formigons:

Pastes

Les pastes de construcció són el producte que resulta de barrejar un conglomerant amb aigua fins a obtenir-ne la consistència volguda, dins un ampli ventall de possibilitats: des de líquida fins a semisòlida, segons el fi proposat.

Els tipus bàsics de conglomerants en la construcció tradicional amb què s'elaboren les pastes són tres:

- **Calç.** S'obté de la calcinació de la pedra calcària (CO_3Ca).
- **Guix i escaiola.** S'obtenen de la calcinació de la pedra anomenada algeps. Químicament, és sulfat de calci deshidratat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). La diferència entre el guix i l'escaiola depèn de la temperatura de cocció i de la puresa del color blanc, que és major en l'escaiola.



- **Ciments.** N'hi ha de moltes varietats: pòrtland, blancs, putzolànics, d'escòries, aluminosos, etc. A diferència de la calç i del guix, que tan sols s'endureixen en presència d'aire, alguns ciments tenen la propietat de ser hidràulics, és a dir, s'endureixen tant en presència d'aire com d'aigua.

La calç i el guix són productes naturals que s'obtenen per calcinació directa, mentre que el ciment pòrtland és un producte artificial, que es genera per una doble cocció de calç i argila, i el molturat posterior, al qual, a més, es poden afegir d'altres components.

Les pastes s'utilitzen preferentment com a revestiment. Cal evitar, en la mesura del possible, els revestiments de les parets interiors amb guix. La seva presència dificulta el reciclatge del suport, atès que el guix, en la seva condició de sulfat, tendeix a incrementar el volum en presència d'aigua i altera l'estabilitat dimensional, característica necessària per als materials de construcció.

Morters

Resulten d'afegir sorra a les pastes de calç i de ciment, en proporcions controlades, per tal de garantir tant la facilitat per pastar la barreja com la seva resistència i adherència al suport. Els morters són els aglomerants més comuns per realitzar fàbriques de tota mena, tant de base pètria com ceràmica. També s'utilitzen com a revestiment de parets amb el nom d'*arrebossats*. En la seva consistència, es busca el compromís entre la facilitat de treball i l'adherència.

Formigons

Els formigons són el material de construcció més emprat avui per la seva versatilitat i per la seva extensa gamma de consistències, de resistències i de formulacions. En la seva composició, hi intervenen grava, sorra i ciment i aigua en quantitats equilibrades, per tal d'obtenir unes bones propietats mecàniques sense esmerçar grans quantitats de ciment. Es poden incorporar additius al formigó per millorar-ne algunes propietats, com accelerar o retardar l'enduriment, o fer-lo més fluid o més resistent mecànicament o al foc, per citar-ne el més habituals.

El formigó és present en elements de caràcter massiu, com fonaments i contencions, i en estructures de barres, però també s'utilitza en elements superficials, com sostres i soleres. També s'ha emprat en la formació de closques lleugeres per salvar grans llums, si bé la seva època daurada ha passat, en benefici d'altres materials més lleugers i econòmics, com la fusta laminada encolada.

2.2.4. Materials conformats

Els materials conformats són aquells que arriben a l'obra amb una dimensió física determinada. L'economia de mitjans indica que haurien d'ocupar el seu lloc en la construcció sense modificacions dimensionals o, si no, amb les adaptacions mínimes, i que aquestes haurien de ser fàcils de fer.



Els materials conformats, especialment els artificials, requereixen estudis ergonòmics, dimensionals i del procés de col·locació, per tal d'obtenir-ne el màxim rendiment.

Aspectes ergonòmics. El format

Suposa decidir les dimensions i el pes dels elements, és a dir, el format, per tal que puguin ser manipulats per una sola persona amb vista a la seva col·locació a l'obra, emprant una mà o les dues. En aquest cas, es tracta de peces de **petit format**, com ara els totxos, les teules o les peces de paviment. En tot cas, una sola persona no hauria de manipular pesos superiors a 25 kg.

Si es necessiten dues persones per manipular un element constructiu determinat, es tracta de peces de **format mitjà**, com ara blocs de morter de gran format, prefabricats de més de 25 kg de pes o biguetes de formigó, entre els exemples més comuns.

Els **grans formats** requereixen, en funció del seu pes i/o volum, mitjans auxiliars per a la seva col·locació a l'obra. Els prefabricats estructurals o els grans panells d'encofrat en són un exemple.

Consideracions dimensionals

En funció de les seves dimensions preponderants, els materials de construcció poden ser de caràcter lineal, com ara les biguetes, els tubs, les barres i els perfils; superficials, com les plaques, les rajoles, els revestiments i les xapes perfilades, o volumètrics, com els prefabricats de gran format o els palets de materials diversos.

Les agrupacions de materials s'han d'ajustar, excepte en situacions excepcionals, als límits d'un transport convencional per carretera, que són 2,50 × 12,00 m. La majoria dels prefabricats de gran format es realitzen en mòduls d'1,20 m d'amplada per tal de disposar-ne dos en paral·lel sobre la plataforma de càrrega.

Procés de col·locació

El procés de col·locació dels materials a l'obra ha de ser, en la mesura del possible, fàcil d'executar, segur, durable i econòmic. La via humida tradicional pròpia de les pastes i dels morters es fonamenta en la fixació química per adhesió entre el material de base i el conglomerant.

Actualment, per a determinades comeses, es disposa d'una gran varietat de conglomerants i de coles, que constitueixen autèntiques soldadures químiques. Les coles a base de resorcina per unir les delgues de la fusta laminada encolada en condicions extremes d'humitat i temperatura sense alterar-se en són un bon exemple.

Una alternativa tradicional són les fixacions mecàniques, en forma de claus, cargols, ganxos, encastos, encavalcaments i ferratges de tota mena, alguns d'ells galvanitzats o elaborats amb acer inoxidable.



Finalment, la soldadura de metalls per mitjà d'un arc elèctric i atmosferes de gasos inerts garanteix la unió de les peces amb altes prestacions i sol·licitacions.

2.3 Criteris per a la selecció dels materials de construcció

La construcció és una vella companya de la civilització. Si les diferents civilitzacions han evolucionat i han constituït fites històriques en el moment de la seva màxima esplendor ha estat, en bona mesura, gràcies al component racional en l'elecció dels materials de construcció i en la manera com aquests han estat posats en obra.

Salvant les distàncies culturals i les possibilitats tecnològiques actuals, els principis de racionalitat, d'estalvi d'esforços i d'economia mantenen la seva vigència al llarg del temps.

Com a primer criteri de selecció, cal considerar que els materials de construcció han de ser abundants a la naturalesa, necessitar poca transformació i, preferiblement, ser fàcils d'extreure.

Per construir, es continua emprant, en bona mesura, la pedra i l'argila com a primera matèria, per bé que alterades per processos industrials per millorar-ne les prestacions.

La majoria de les construccions es caracteritzen per la seva gran massa. La construcció d'un edifici requereix grans quantitats de materials, transportar-los i col·locar-los al seu lloc concret. Aquests fets comporten consum d'energia i, en moltes èpoques, l'energia ha estat limitada, i sempre ha estat cara d'obtenir.

Com a alternativa per reduir el consum energètic, la construcció ha cercat fer més amb menys, canviant materials pesants per altres de més lleugers i introduint-hi nous models constructius, més eficients.

L'enginy permet aprofitar millor les possibilitats dels materials, per exemple, triangulant els elements estructurals o introduint-hi esforços de tracció. Aquests no produeixen guexaments; al contrari, les compressions o les flexions esgoten ràpidament les capacitats resistents de les seccions. Les cobertes de cables o els ponts suspesos en són un exemple de la utilització racional dels materials. A canvi, requereixen emprar cables d'altres prestacions mecàniques.

Un altre bon criteri per aconseguir una construcció més econòmica i eficient és utilitzar materials de la zona propera a l'obra, per reduir el cost del transport. Tradicionalment, segons els àmbits geogràfics, els materials més emprats eren la pedra, l'argila i la fusta. La pedra i l'argila requereixen ser extretes del seu lloc de dipòsit, mentre que la fusta és un material renovable.

La manca de fusta apta per a la construcció en determinats llocs, així com la protecció contra el foc, va forçar el desenvolupament dels arcs i les voltes per cobrir els espais útils necessaris per a les necessitats de la vida quotidiana.

La demanda d'aglomerants es va cobrir per mitjà de la coccia de diversos tipus de pedres, i va donar lloc a la calç, als ciments naturals i al guix.



Quan els materials i les tècniques tradicionals de construcció es varen mostrar insuficients per atendre les necessitats d'una societat en creixement i evolució constants, es van anar ampliant tant el catàleg de materials com les tècniques per a la seva posada en obra. Aquests aspectes es tracten a l'apartat següent.

2.4 Referències històriques

A continuació, es detallen, cronològicament i de forma succinta, les dates en què es van incorporar a la construcció els materials més rellevants. Aquestes incorporacions han fet créixer exponencialment l'àmbit de la construcció en requeriments i prestacions, i també la seva complexitat.

A mitjan segle XIX, el ferro i després l'acer es varen incorporar com a materials de construcció, des del moment en què es varen poder produir, gràcies als alts forns, en quantitat suficient per ser aplicats a la construcció d'edificis.

El formigó armat va començar a aparèixer a principi del segle XX, quan el ciment portland es va produir industrialment. També llavors, la fusta laminada encolada va prendre carta de naturalesa com a nou material de construcció, si bé la seva utilització massiva i el seu desenvolupament tecnològic no es produeix fins als anys cinquanta, quan ja es disposa de coles eficients i d'una gran varietat de ferramentes per materialitzar els nusos.

L'acer inoxidable emprat com a revestiment es va aplicar per primera vegada en la construcció als anys trenta. La utilització de l'alumini des de final dels anys quaranta, en forma de perfils anoditzats, es continua emprant per realitzar façanes lleugeres. Fins aleshores, l'alumini era poc més que un material de laboratori.

El vidre, gràcies a la construcció, ha experimentat una evolució tecnològica extraordinària els darrers cinquanta anys, en que s'ha combinat amb la silicó estructural per generar façanes i divisòries altament eficients.

El darrer metall que s'ha incorporat a la construcció, a partir dels anys noranta del segle passat, és el titani, un metall lleuger, estèticament agradable, durador i resistent a la intempèrie.

L'arquitectura tèxtil, tant tesada com inflada, també va experimentar un desenvolupament notable a partir dels anys seixanta i setanta del segle passat, quan la indústria química va desenvolupar membranes d'alta capacitat resistent i inalterables a la intempèrie durant períodes garantits de fins a trenta anys.

Si es disposa de dos materials o més amb capacitat suficient per respondre a unes especificacions constructives determinades, cal concloure que són preferibles aquells materials i tècniques constructives que requereixen menys transformació del seu estat natural per ser posats en obra.

Les bases de preus, com la BEDEC de l'ITeC, indiquen, per a cada unitat d'obra, el consum energètic i les emissions de CO₂ que es generen. Amb la seva utilització, es pot analitzar, per exemple, el diferencial energètic que resulta entre col·locar una fusteria tradicional o una d'alumini en un edifici determinat. Aques-



ta anàlisi es podrà fer de forma més eficient amb els sistemes de modelatge paramètric BIM (*building information modeling*).

L'anàlisi de les construccions egípcies, comparades amb les d'època romànica, permet apreciar que les primeres es basen en la utilització de carreus de grans dimensions, tallats perfectament, mentre que en la construcció romànica es fan servir carreus de dimensió molt més petita i, per tant, més fàcils de manipular.

En la mesura que la humanitat ha evolucionat, les tècniques de construcció han permès construir edificis més grans, més alts, de millors prestacions, en menys temps i amb menor esforç. És el que Mies van der Rohe va definir com "menys és més".

La fotografia inferior esquerra correspon al temple de Karnak, a Egipte, construït entre el 2200 y el 360 a. de C., i s'hi observen els grans carreus recolzats sobre les columnes, que actuen com a llindes.

La fotografia de la dreta pertany a l'església romànica de Sant Jaume de Frontanyà, construïda al segle XI amb carreus. El format de les seves pedres és sensiblement menor al emprat pels egipcis. Més de dos mil anys separen les dues construccions i ens mostren el lent progrés tecnològic de la humanitat experimentant, fins que a mitjan segle XVIII es comença a produir l'evolució de creixement exponencial que caracteritza el nostre temps.



Actualment, malgrat que es disposa de la capacitat tecnològica i de l'energia suficients per "construir-ho quasi tot", això no suposa que s'hagin de construir projectes fora d'escala.

La carrera esbojarrada dels darrers anys per construir desafortadament i per fer edificis cada cop més alts, més grans i més complexos ha acabat passant factura, tant des del punt de vista econòmic com ambiental.

Cal concloure que el respecte al medi ambient l'hora d'elegir i aplicar els materials de construcció ha de formar part del compromís ètic dels professionals del ram, abans que les recessions econòmiques ens ho hagin de recordar per via de la imposició dolorosa.



2.5 El comportament dels materials de construcció

Els conceptes que s'exposen a continuació són tan sols una petita guia per conèixer algunes característiques i propietats dels materials en general, i dels que s'empren a la construcció en particular.

La bondat o no del comportament global d'un edifici al llarg de la seva vida útil depèn, en bona mesura, de la tria dels materials que conformen els seus sistemes i subsistemes constructius.

Superades les etapes històriques de la construcció empírica i la construcció científica, la construcció actual es fonamenta en una base tecnològica. En la construcció tecnològica, les decisions de disseny es prenen majoritàriament a partir d'algoritmes que determinen la idoneïtat de les solucions adoptades entre moltes altres de possibles.

Conèixer a fons les propietats, les característiques i les condicions d'utilització òptimes dels materials de construcció és una tasca que requereix temps, dedicació i esforç.

Investigar en noves aplicacions o en el desenvolupament de nous materials amb millors propietats és una especialitat professional que es desenvolupa als laboratoris de recerca i/o d'homologació. En tot cas, el coneixement dels materials de construcció és un dels fonaments per "saber construir".

Actualment, els materials i, entre ells, els de construcció, estan parametritzats gràcies als treballs de laboratori desenvolupats amb criteris científics. A partir d'uns valors concrets de referència, un expert pot escollir el material o els materials més idonis per donar resposta a uns requeriments determinats segons les seves prestacions.

La dualitat entre els requeriments i les prestacions és una constant que cal tenir en compte al llarg del procés constructiu. En la mesura que es defineixin els requeriments d'un material, d'un element constructiu, d'una part d'un edifici o d'un edifici complet, serà possible ajustar amb més precisió els paràmetres de qualitat, preu i temps que li donin la resposta adequada.

El Codi tècnic de l'edificació (CTE), per mitjà dels seus sis documents bàsics (DB), respon plenament als principis d'equilibri entre requeriments i prestacions. Aquests són:

- DB-SE Seguretat estructural
- DB-SI Seguretat en cas d'incendi
- DB-SUA Seguretat d'utilització i accessibilitat
- DB-HS Salubritat
- DB-HR Protecció enfront del soroll
- DB-HE Estalvi d'energia

El CTE es pot consultar en xarxa. És convenient fer una ullada, de tant en tant, als DB (fotografia esquerra de la pàgina següent), com també als preceptes de l'EHE vigent (fotografia central). Els promptuaris de perfils d'acer també aporten coneixements extra respecte a les dades numèriques dels perfils, en forma de detalls



constructius i procediments de càlcul (fotografia de la dreta). Aquesta lectura continuada, a mesura que avança la preparació acadèmica, permet descobrir nous conceptes. És també un element per contrastar els coneixements adquirits per altres vies.



Cal considerar que els DB són documents que han de ser aplicats per tècnics; no contenen ni demostracions, ni argumentacions, ni explicacions teòriques, que es donen per conegudes. Aquestes cal cercar-les a la bibliografia tècnica o bé a la xarxa.

El sòl. Abans de continuar amb la descripció dels paràmetres més significatius dels materials de construcció, cal reflexionar sobre el primer material físic necessari per construir: el sòl.

El concepte sòl es pot interpretar com a sinònim de “terra”, és a dir, un conjunt en estat natural d’aire, aigua i partícules sòlides. Les roques, per les seves característiques especials, responen de forma diferent que els sòls enfront de les accions mecàniques. El seu estudi correspon a la mecànica de roques.

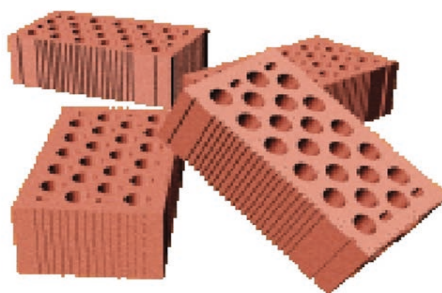
L’estudi i el coneixement del comportament mecànic del sòl, és a dir, la geotècnia, és relativament recent i es deu a Karl von Terzaghi (1883-1963), que l’any 1925 va publicar *Erdbaumechanik* (“Mecànica de sòls”). Als capítols 4 i 5, se n’amplien alguns aspectes, per conèixer millor el comportament mecànic del sòl.

2.6 Paràmetres representatius dels materials de construcció

Amb caràcter merament enunciatiu, se citen alguns dels paràmetres que s’utilitzen habitualment per definir i comparar els materials de construcció:

Densitat

És la relació entre el pes i el volum d’un material determinat. S’expressa en kg/m^3 o en g/cm^3 . En el cas dels sòls, de les fàbriques de maçoneria o dels maons, també s’utilitza Tn/m^3 o kN/m^3 .



Les sis fotografies anteriors mostren, d'esquerra a dreta i de dalt a baix, la gran forquilla de densitats que configuren alguns dels materials de construcció més freqüents:

Ferro	7.800 kg/m ³
Alumini	2.700 kg/m ³
Terres	1.700 – 2.000 kg/m ³
Totxo perforat	1.500 kg/m ³
Formigó en massa	2.400 kg/m ³
Llana mineral	25-60 kg/m ³

Porositat

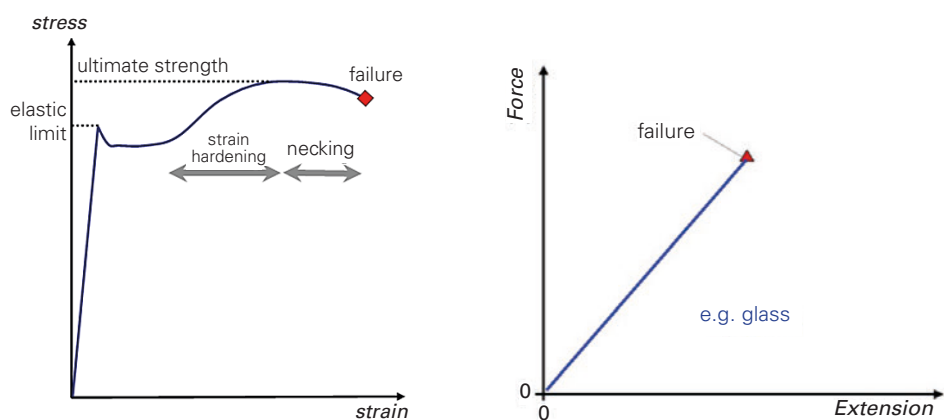
La porositat suposa la presència d'espais plens d'aire, aigua o un altre fluid, entre les partícules que conformen un material determinat. La porositat pot ser oberta o tancada, segons si els porus estan connectats entre si, o no. S'expressa en percentatge (%).



Un material de construcció molt porós en pot sortir perjudicat, a causa de l'increment de volum que experimenta l'aigua en gelar-se.

Límit elàstic

Es tracta d'un paràmetre propi dels materials elàstics, que indica el valor últim en què hi ha proporcionalitat lineal entre tensions i deformacions. Sempre que no se sobrepassi aquest valor, la mostra assajada recuperarà la seva dimensió original. S'expressa en unitats de pressió N/mm^2 . Un valor habitual per als acers que s'empren en els perfils laminats per a la construcció és 240 N/mm^2 .



El gràfic superior esquerre correspon a un acer. S'hi observa que, fins i tot superat el límit elàstic degut a la ductilitat del material, aquest segueix resistint deformant-se sense possibilitat de recuperació. Aquesta resistència addicional d'alguns acers (dóna un) amplia el marge de seguretat teòric (addicional) davant de sol·licitacions excepcionals, com explosions o sismes. El gràfic de la dreta, corresponent a un vidre, mostra la manca de ductilitat d'aquest material, que o bé resisteix o bé es trenca.

Mòdul elàstic

També s'anomena *mòdul de Young*. És el quocient entre la tensió i la deformació unitària que experimenta la barra d'un material determinat en ser sotmesa a un esforç de tracció. S'expressa en unitats de pressió; així, l'acer té un mòdul elàstic de $2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$. Quant més elevat és el mòdul elàstic d'un material, major és la seva capacitat resistent.

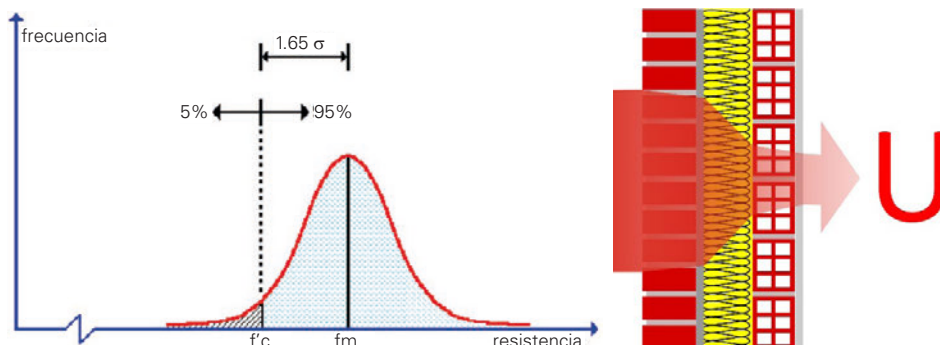
Mòdul de deformació.

En el cas dels materials plàstics, els diagrames de tensió-deformació no són lineals. En aquestes situacions, es fixen uns valors de tensió entre els quals es considera lineal el diagrama de tensió-deformació. Per al formigó, es pot adoptar un valor de mòdul de formació de $2 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$. En el cas dels sòls, es donen valors compresos entre 5 i 20 N/mm^2 .



Resistència característica

Valor de resistència a la compressió per un a material determinat que s'utilitza com a base de càlcul. S'obté per procediments estadístics. El 95 % dels assaigs de resistència que es fan, de forma normalitzada, sobre aquest material han de donar valors per damunt d'aquest valor (gràfic esquerre següent). S'expressa en unitats de pressió, N/mm².



Transmitància tèrmica

És la quantitat d'energia que flueix, per unitat de temps, a través d'un material que té un diferencial tèrmic d'un grau entre les seves cares. S'expressa en W/m²°C i el seu símbol és U. Quant més baix sigui el valor U, major serà la capacitat aïllant del material en qüestió. Al gràfic superior dret, es mostra, en forma de reducció molt acusada del flux, l'efecte de la interposició d'un isolament tèrmic en un mur.

Absorció

És la quantitat màxima d'aigua que pot contenir un material per immersió a llarg termini. S'expressa en percentatge i s'aplica a la construcció fonamentalment per analitzar els totxos ceràmics.

$$\text{Capacitat d' absorció} = \frac{\text{Pes saturat} - \text{Pes sec}}{\text{Pes sec}} \times 100$$

Els totxos tenen habitualment una absorció superior al 20 %.

Succió

És la quantitat d'aigua que pot absorbir un material porós en contacte amb l'aigua per unitat de secció i de temps. Habitualment, s'utilitzen grams, cm² i minuts. En construcció, aquest paràmetre s'emptra fonamentalment per analitzar maons. Valors superiors a 20 g/min en 200 cm² suposen que el totxo absorbirà l'aigua del morter, cosa que impedirà que aquest s'endureixi adequadament si prèviament no s'ha hidratat el totxo.



2.7 Adequació a l'ús dels materials de construcció

Els materials de construcció s'utilitzen, a partir del seu coneixement ancestral i tradicional –com la pedra o la fusta– o experimental i numèric –com el formigó o el ferro–, atenent molts factors d'anàlisi que els fans aptes per a usos tant de caràcter general com específic.

En l'adequació a l'ús dels materials de construcció, cal distingir entre els paràmetres de tipus físic, mesurables tècnicament, i els sensibles, en què la valoració es produeix de forma més subjectiva. Els més significatius són:

De tipus físic:

- Resistència mecànica
- Durabilitat
- Fragilitat i ductilitat
- Estabilitat dimensional
- Resistència als agents químics. Comptabilitat electroquímica
- Modelabilitat

De tipus sensible:

- Textura
- Color
- Format

Resistència mecànica

És una propietat que sol anar associada a la densitat: com més dens és un material, major resistència té a la compressió. No tots els materials es comporten de la mateixa manera enfront dels esforços mecànics fonamentals: compressió, tracció, torsió, tallant i flexió. Els seus valors s'expressen en unitats de tensió (per exemple, en N/mm^2).

Les columnes de la sala hipòstila del Park Güell treballen a compressió (foto inferior esquerra); els tirants de Kevlar que mantenen estable la torre de Collserola exemplifiquen els esforços de tracció (foto central); la torre d'una grua d'obra, a més de compressions, suporta torsions a causa del gir de la ploma (foto inferior esquerra).





La fotografia esquerra de la pàgina següent mostra el trencament característic, a 45°, d'una jàssera de formigó a la zona de recolzament, per efecte dels esforços de tall. La fotografia de la dreta permet apreciar la deformació d'una jàssera de formigó armat durant un assaig de laboratori. El valor màxim de la deformació s'anomena fletxa. En construcció, les fletxes admissibles oscil·len, segons els casos, entre $L/300$ i $L/1000$. El valor més corrent és $L/500$.



Es podria establir un primer grup de materials –dins el qual es troben els metalls–, que es comporta de la mateixa manera independentment del sentit en què actua un esforç determinat: són els *isòtrops*. En canvi, els materials *anisòtrops* són aquells que es comporten de forma marcadament diferent en funció de l'orientació de l'esforç. A tall d'exemple, els materials petris suporten bé les compressions; en canvi, ofereixen valors molts baixos quan es tracta d'absorbir esforços de tracció. Les fustes es comporten de forma molt diversa, segons l'orientació de les seves fibres.

Durabilitat

Aquesta propietat indica la capacitat de resistència, sense experimentar una alteració superficial substantiva en el temps, tant enfront dels agents meteorològics com respecte de determinades condicions d'ús. En el cas dels paviments, es fa referència al concepte de *resistència al desgast*.

Fragilitat i ductilitat

La fragilitat i la ductilitat són termes contraposats. Es diu que un material és fràgil quan es fractura amb poca deformació. El paradigma de material fràgil és el vidre, sense tractaments específics per a corregir la fragilitat.

Els materials dúctils es trenquen després de patir deformacions acusades en l'àmbit plàstic, és a dir, per damunt del límit elàstic. Els acers, especialment els que disposen de tractaments i aliatges específics, constitueixen un bon exemple de comportament dúctil.



La fotografia següent esquerra mostra com es trenca un vidre, per raó de la seva fragilitat, a causa d'un impacte. La fotografia de la dreta permet apreciar com, gràcies a la ductilitat de les armadures de l'estructura, un edifici que arran d'un sisme va superar de llarg les accions per a les quals havia estat calculat es va mantenir pràcticament intacte, i així va salvar la vida dels seus ocupants, malgrat les grans deformacions sofertes.

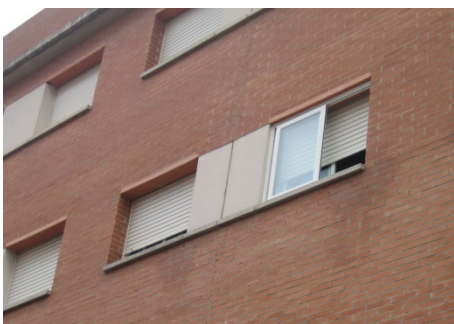


Estabilitat dimensional

És una propietat que cal tenir en compte en el moment de construir. La majoria dels materials es dilaten i es contrauen per efectes tèrmics i higrotèrmics. Com que aquests efectes són inevitables, cal fraccionar l'estructura dels edificis per mitjà de les juntes de dilatació. En circumstàncies normals, aquestes se situen a distàncies inferiors a 30 m. En determinats casos, especialment en el tancament de l'obra de fàbrica, a més de les juntes de dilatació, es fan juntes de treball a distàncies inferiors a 15 m, per tal de garantir la compatibilitat de les deformacions entre els elements portants (estructura) i els elements portats (tancaments).

A les zones subjectes a grans canvis tèrmics, com la solera d'un terrat, cal realitzar juntes a distàncies no superiors a 5×5 m i deixar un marge de l'ordre d'1 cm entre el final del paviment i el parament vertical. En cas contrari, les peces poden arribar a aixecar-se pels esforços de compressió induïts pels canvis tèrmics.

La fotografia inferior esquerra mostra una façana d'obra vista en la qual s'aprecia la junta de dilatació; la fotografia de la dreta mostra els efectes de no preveure juntes de dilatació en el paviment d'un terrat. En dilatar-se, les rajoles es pressionen entre si i s'aixequen.





Resistència als agents químics. Compatibilitat electroquímica

L'enemic més gran de la construcció és l'aigua, per moltes raons. És un dissolvent universal. També actua com a electròlit, fenomen que intervé en la corrosió dels metalls. La fotografia inferior esquerra mostra els efectes de la corrosió en una barana de balcó.

Per si això fos poc, l'aigua s'infiltra per capilaritat a la massa dels materials porosos i, quan es transforma en gel, exerceix grans pressions que deterioren els materials. La fotografia inferior dreta mostra exfoliacions i fractures causades pel gel en una teulada.



Modelabilitat

Alguns materials permeten adaptar la seva forma a la del recipient o motllo que els conté. És el cas dels líquids i d'algunes pastes. Per mitjà de reaccions fisicoquímiques, es poden produir canvis, de difícil reversibilitat, en l'estat del producte inicial a sòlid. Aquesta propietat és molt utilitzada en la construcció, perquè els materials que la tenen poden servir, entre d'altres comeses, per aglutinar i reomplir fàbriques, per revestir paraments o per generar formes estructurals de gran capacitat resistent a partir d'encofrats, com és el cas del formigó armat.

La fotografia inferior esquerra mostra la preparació d'una gaveta amb pasta de guix. La de la dreta permet apreciar com el formigó és bombat per formar una solera armada.





Textura

Els materials a la vista i al tacte poden presentar molts acabats, des d'un polit i abrillantat que ofereixi una superfície similar a un mirall fins a paraments molt rugosos.

Un mateix material, segons el tractament d'acabat que hagi rebut, pot presentar textures molt diferents. És feina del professional escollir els materials més apropiats per a cada ús i circumstància. Així, els paviments que es mullen sovint s'escolliran antilliscants, és a dir, amb un cert grau d'aspror. En canvi, els revestiments de les parets poden presentar superfícies polides, sense generar problemes de seguretat d'ús.

A tall d'exemple de la diversitat de textures que pot presentar un mateix material, la fotografia inferior esquerra mostra un taulell de cuina de granit polit; la de la dreta, un paviment de llambordins del mateix material.



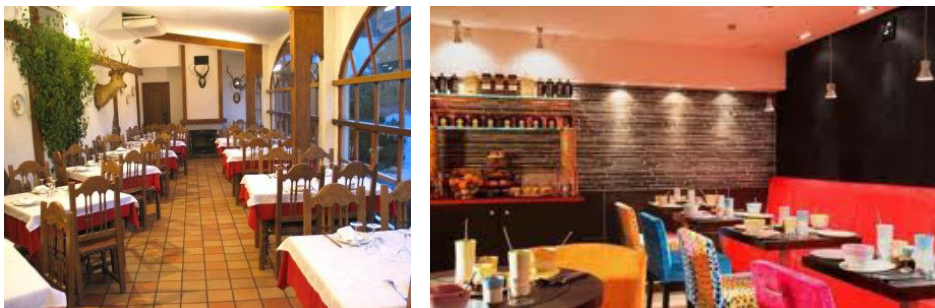
Color

El color dels objectes i dels espais on vivim i habitem incideix no tan sols en la seva major o menor facilitat de percepció, sinó també en l'estat d'ànim de les persones. Per tant, l'elecció dels colors dels acabats dels materials de construcció és molt important per generar els ambients adequats. Un mateix color pot ser encertat perquè genera una imatge associada a una activitat i resultar desafortunat en un altre ambient. Les fotos inferiors mostren dues oficines en les quals es tracta de crear un ambient tranquil i asèptic, que faciliti l'activitat laboral.





Els dos exemples fotogràfics següents mostren colors més càlids per decorar i donar un ambient amical i confortable als restaurants.



Format

El format respon a les dimensions en què es presenta un producte determinat, tant per facilitar-ne la manipulació i la posada en obra com per aconseguir un efecte estètic determinat. El format és el resultat d'un compromís entre el procés de fabricació, les toleràncies dimensionals, el pes i l'ergonomia de la peça.

En l'adopció dels formats, es té en compte, entre d'altres aspectes, si la peça es manipularà amb una mà o amb les dues. Així, un totxo de format català que es manipula amb una sola mà fa $14 \times 29 \times 4,5$ cm i pesa poc més de 3 kg, mentre que un bloc de formigó estàndard mesura $40 \times 20 \times 20$ cm i pesa 13 kg. Tant per les seves dimensions com pel seu pes, per manipular-lo es necessiten les dues mans.

Si una peça l'ha de manipular una sola persona, el seu pes no ha de superar els 25 kg. A tall d'exemple, una placa de cartró guix fa $1,20 \times 2,50$ m i pesa 22,5 kg. La mesura d'1,20 m de la placa de cartró guix se situa al límit en què una persona de mida corrent pot abastar els dos extrems. Un tauler d'encofrat té unes dimensions de $1,50 \times 2,00$ m, 27 mm de gruix i pesa 20 kg. Els sacs de morter són de 25 kg.

→ 3



Les primeres actuacions

3.1 Requisits per començar a construir

El requisit fonamental per començar a construir, tal com s'ha indicat al capítol 1, és disposar d'un projecte executiu perfectament adaptat a les condicions de l'entorn, del sòl, urbanístiques i normatives vigents.

El projecte executiu és la primera matèria per dur a terme una construcció determinada. En qualsevol moment del procés constructiu, el coneixement i el control virtual del futur que ofereix el projecte executiu són fonamentals per realitzar una construcció determinada de forma eficient.

Això vol dir que el projecte executiu marca les primeres actuacions necessàries per a dur a terme un edifici:

- Conèixer el comportament mecànic del sòl per mitjà d'un estudi geotècnic, amb la incidència consegüent sobre el disseny constructiu dels fonaments, el sistema de contencions i l'estructura.
- Disposar de plànols topogràfics precisos amb l'emplaçament de l'edifici referenciat, en planimetria i altimetria, en punts del sòl fàcilment identificables.
- Organitzar i tancar l'espai d'obra per fases, per tal de disposar dels serveis generals i dels equipaments necessaris per a la seva execució: aigua, clavegueram, electricitat, mitjans auxiliars, tancament i protecció del perímetre, previsió de circulacions i accessos, mesures de seguretat, vestuaris, oficina d'obra i espais d'abassegament.
- Realitzar la neteja i l'esbrossada del terreny o del solar per mitjans mecànics, per tal de permetre el replanteig dels fonaments.



3.2 Neteja i esbrossada del terreny o del solar

La neteja i l'esbrossada del terreny o del solar consisteix a eliminar els detritus dipositats, les herbes i la capa superficial que conté les arrels, amb un gruix aproximat d'entre 15 i 30 cm. Aquest fet suposa transportar a l'abocador un volum important de residus de tipus orgànic. L'actuació descrita té per objectiu obtenir una superfície apta per dur a terme el replanteig i començar a disposar dels equipaments i dels serveis necessaris per a la seva execució, segons les disposicions del projecte d'implantació d'obra.

3.3 El replanteig

Les accions de replanteig consisteixen a senyalar sobre el terreny, de forma precisa, la posició i les dimensions dels elements que s'hi volen construir. El conjunt d'aquestes accions, que permeten iniciar la construcció de l'edifici, es coneix genèricament amb el nom de *replanteig*.

La realització del replanteig és precedida de l'aixecament topogràfic, atès que sobre les dades altimètriques i planimètriques d'aquest s'ha realitzat el projecte que es vol construir. Per aquest motiu, els replanteigs es produeixen constantment al llarg del curs d'una obra, des de la fonamentació fins als sostres, les divisòries, etc.

El primer replanteig es fa amb l'ajuda d'uns aparells topogràfics de precisió, per tal d'establir punts i eixos fixos de referència, que s'empraran especialment durant les primeres fases l'obra.

Utilitzant els punts i els eixos de referència, es poden assenyalar sobre el terreny, per mitjà d'aparells topogràfics, estaques, cordills, cinta mètrica i calç o guix, les rases corresponents als fonaments.

Les marques de calç o de guix, traçades amb l'ajuda de cordills, assenyalen els límits de les excavacions dels elements de fonamentació perquè les puguin realitzar les màquines excavadores. Les terres sobrants es poden emprar en la mateixa obra o bé transportar-se a un abocador controlat.

La fotografia inferior esquerra mostra un sòl esbrossat; la fotografia central correspon al procés de marcar el replanteig d'unes sabates, i a la fotografia de la dreta una màquina està excavant una fonamentació d'acord amb el replanteig.





3.4 Aparells topogràfics

A continuació, es descriuen, de forma succinta, les característiques i les prestacions dels aparells topogràfics que, muntats sobre trípodes, es poden emprar per realitzar les primeres fases del replanteig d'una construcció.

Val a dir que la tecnologia làser i l'electrònica han facilitat molt les tasques d'aixecament i de replanteig, i han convertit en obsolets els aparells òptics tradicionals. Malgrat això, els principis de funcionament dels aparells electrònics són similars als òptics, però l'amidament de distàncies i angles es fa directament per mitjà de distànciòmetres làser i microprocessadors.

Aparells òptics mecànics:

- Teodolit
- Taquímetre
- Nivell topogràfic

Electrònics:

- Estació total
- Nivells làser amb diverses especialitzacions

Teodolit

El teodolit (fotografia esquerra següent) és un instrument mecànic i òptic d'amidament d'angles de gran precisió. Consta d'un telescopi, dotat de creu filar, muntat sobre un trípode amb dos cercles graduats (goniòmetres), un en el pla vertical i l'altre en el pla horitzontal. L'amidament dels angles es realitza amb lents d'augment i permet mesurar fraccions de segon.



No és un aparell d'obra. S'utilitzava preferentment per determinar posicions de punts distants per mitjà de l'amidament molt precís d'una base. Actualment, ha quedat arraconats per aparells de principis de funcionament similars, equipats amb instruments electrònics, els quals ofereixen més prestacions i són més senzills d'utilitzar.



Taquímetre

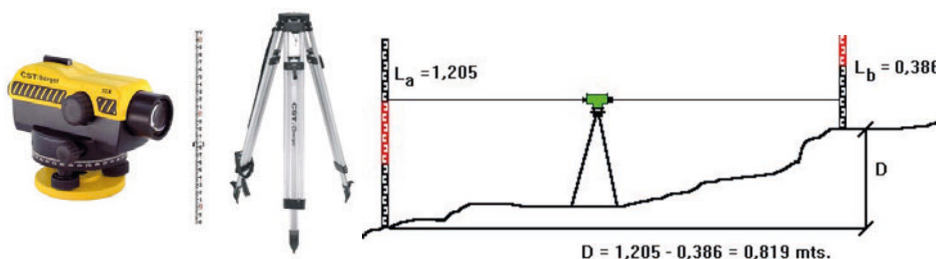
El taquímetre (fotografia central superior) respon al mateix esquema de funcionament que el teodolit, però amb un grau de precisió menor. A més de la creu filar, el telescopi incorpora un reticle (fotografia dreta). La precisió dels goniòmetres oscil·la entre 1° i $1'$.

El reticle permet mesurar, sobre una mira com la de la fotografia del mig, les lectures superior, inferior i mitjana. Aquestes lectures permeten determinar indirectament, per proporcionalitat de triangles, les distàncies geomètriques i reduïdes entre el punt d'estació de l'aparell i la mira.

Durant la lectura, també es mesuren els angles vertical i horitzontal, per tal d'establir la posició del punt respecte d'una referència determinada. Amb els punts posicionats, es determinen poligonals, que permeten fer aixecaments de plànols i replanteigs, segons convingui.

Nivell topogràfic

S'anomena també nivell òptic, equalímetre o, simplement, nivell (fotografia inferior esquerra). S'utilitza, fonamentalment, per a mesurar desnivells, és a dir, diferències de cotes entre diversos punts, un dels quals és conegut (gràfic de la dreta). En tota anivellació, és necessari partir d'un punt de cota coneguda o establir un punt de cota zero a partir del qual es referencien la resta de punts (gràfic inferior dret).



La precisió d'un nivell depèn del tipus d'anivellació. En principi, es disposa de nivells amb òptiques de 20 a 25 augments i mires graduades en centímetres o en dobles centímetres. En aquestes condicions, l'error és d' $1,5$ cm per km anivellat.

Estació total

L'estació total és un aparell electroòptic, basat en el teodolit, preparat per acomplir tasques de replanteig i aixecament topogràfic amb gran precisió (fotografia esquerra de la pàgina següent). Està equipat amb tecnologia electrònica, un distànciòmetre làser, un microprocessador i una pantalla de cristall líquid, que permet introduir coordenades, per al seu replanteig, o llegir directament angles i distàncies; a més, també es pot emprar com a calculadora.



Les estacions totals requereixen dos operaris: un que dirigeix l'estació i l'altre que col·loca el prisma reflectant sobre cadascun dels punts que es volen mesurar (fotografia del mig). Hi ha estacions totals que poden mesurar "a sòlid", és a dir, sense haver d'emprar un prisma reflectant.

La informació es pot emmagatzemar en un llaç de memòria i traspasar-la a l'ordinador, cosa que facilita enormement el traçat de plànols topogràfics (planimetria i altimetria).

Les estacions totals estan cedint lloc als equips GNSS, sigles angleses del Sistema de Satèl·lits de Navegació Global (fotografia de la dreta). En aquests aparells, un cop fixada la base a terra, només es necessita una persona per prendre les dades. Tampoc no cal el contacte visual directe, sempre que l'operari es col·loqui en el punt que es vol mesurar.

Les estacions totals convencionals es continuen emprant en els túnels i en els treballs sota sostre en què no arriba el senyal dels satèl·lits.

Nivells làser

Pel seu baix preu, el grau de precisió i la facilitat d'ús, els nivells làser han irromput amb força en la construcció i han desplaçat els nivells òptics i els d'aire.

N'hi ha molts models, des dels més senzills per a obra, els quals, muntats sobre un trípode, projecten punts que es poden unir per mitjà d'una guinyolada, fins als que generen línies de referència horitzontals i verticals (fotografies inferior esquerra i central, respectivament). Acostumen a ser autoanivellants, de manera que les operacions de posada en servei són molt ràpides i senzilles.





Per fer anivellaments de més entitat, per exemple en cas de moviment de terres o paviments, es disposa de nivells amb el cap rotatori (fotografia de la dreta de la pàgina anterior). Per verificar l'anivellament sobre una barra, es fixa un sensor de raigs làser a una cota determinada. En coincidir la cota del sensor amb la del nivell, aquest emet un senyal acústic lumínic, segons el model.

3.5 Estris per al replanteig

A continuació, es detallen, d'esquerra a dreta i de dalt a baix, els estris més habituals per realitzar replanteigs i les seves utilitats.



Cinta mètrica.

Es fabriquen en longituds diferents. Les de 10, 20 i 50 m son les més habituals. S'utilitzen per passar punts sobre els eixos de replanteig. Habitualment, es fan servir cotes arrossegades per reduir els errors de procediment. També es poden (fer servir) emprar com a escaire generant un triangle d'acord amb la sèrie 3, 4, 5, o els seus múltiples o submúltiples.

Flexòmetre

Les seves longituds van dels 2 als 8 m. Els flexòmetres de 5 m son els més freqüents. S'utilitzen per materialitzar elements constructius com sabates, riostes i bigues centradores a partir dels seus eixos de referència.



Escaire d'obra

Estan realitzats amb acer galvanitzat i fan entre 60 cm i 1 m de costat. A partir d'una alineació determinada, definida per un cordill, permeten traçar una perpendicular per mitjà d'un altre cordill tangent a l'altre catet. També permeten traçar angles a 45° amb el mateix procediment.

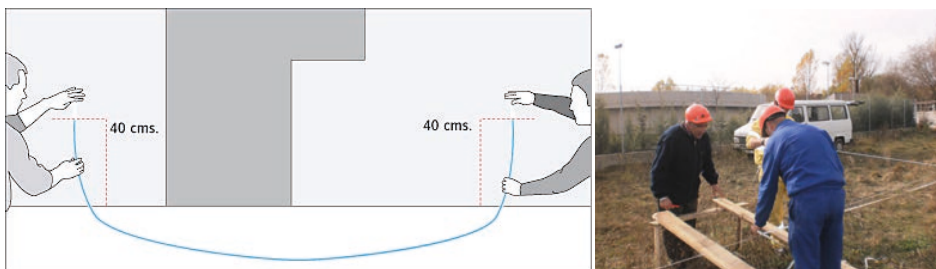
Els escaires d'angle variable disposen de dos braços units per un espàrrec enroscat, de manera que es poden adaptar a qualsevol angle.

Estagues

Tenen un ús múltiple. Es claven al terreny per definir punts i eixos i per formar les balises. Habitualment, per col·locar els cordills amb precisió, s'acostuma a clavar un clau a la seva testa. També es fan servir com a estagues trossos d'acer corrugat pel seu gruix reduït i perquè es poden clavar fàcilment. Per evitar accidents i facilitar-ne la visibilitat, s'ha de protegir la seva testa amb un curull de plàstic.

Nivell d'aire

Es realitza amb una mànega de plàstic transparent que s'omple parcialment amb aigua. Cal que no quedin bombolles a l'interior de la mànega, perquè es falsejaria el mesurament del nivell. Es basa en el principi dels vasos comunicants. Quan es col·loca el nivell de l'aigua en una marca de referència i s'estabilitza el moviment de l'aigua, el nivell de l'altre extrem coincideix amb el de la marca de referència (gràfic inferior).



Marcadors

Serveixen per materialitzar referències i/o instruccions sobre el terreny. S'utilitzen pintures en esprai de colors molt vius i contrastats respecte de l'entorn per facilitar-ne la visibilitat. Per marcar els fonaments, habitualment es fa servir calç o guix en pols.

Cordills

Per materialitzar eixos i perímetres d'excavació, abans de marcar-los definitivament, es fan servir cordills fins de niló, que ofereixen més resistència que els clàssics de cotó.



Balises

Estan formades per dues estaques que suporten un llistó travesser (fotografia superior de la dreta de la pàgina anterior). Sobre el llistó, es clava un clau que defineix l'eix de replanteig. A banda i banda, es fan marques per tal de facilitar la col·locació dels fils. Les balises constitueixen punts fixos de referència, que s'han de mantenir abans i després de l'excavació per facilitar el formigonatge dels fonaments i el replanteig de l'inici dels pilars.

Claus

Serveixen per fixar les balises, i com a definidors d'inicis i finals d'eixos i perímetres.

3.6 Moviments de terres

Els moviments de terres responen a processos de caràcter constructiu que tenen per objecte modificar el perfil natural del terreny a fi d'adaptar-lo a les necessitats d'execució d'una obra determinada, amb el replanteig previ i l'establiment de les referències corresponents a través dels plànols topogràfics del projecte.

En els moviments de terres, es distingeixen les activitats següents:

- Anivellaments
- Rasants
- Desmunts
- Terraplenaments
- Buidades

Anivellaments

Els anivellaments són moviments de terres per establir-hi grans superfícies planes a les quals, habitualment, es dona un lleu pendent per tal de facilitar-ne el drenatge.

Rasants

Les rasants són els pendents que es donen als camins i a les carreteres per tal d'adaptar-los al perfil natural del terreny. Els pendents s'acostumen a expressar de forma percentual. La fotografia esquerra següent mostra, en primer terme, la rasant d'un camí.

Desmunts

Els desmunts consisteixen en l'extracció de terres, en determinades zones, fins a aconseguir el perfil volgut. A la foto esquerra següent, en segon terme, s'està procedint a un desmunt.



Terraplenaments

Els terraplenaments són una operació de moviment de terres contrària al desmunt. Suposa l'aportació i la compactació de terres, per tongades, fins a aconseguir el perfil volgut.



Buidades

Les buidades són els desmunts que es fan sota rasant de grans superfícies. Es poden realitzar a cel obert, sense contencions perimetrals, o bé correspondre a vasos d'edificació amb contencions perimetrals establertes prèviament. La fotografia superior dreta mostra dues màquines excavadores que treballen coordinadament en la realització d'una buida.

En els grans moviments de terres, es procura equilibrar les terres desmuntades amb les terraplenades per tal de limitar els transports i els materials d'aportació.

3.7 Procés d'execució per a l'extracció de terres

El procés d'execució per a l'extracció de terres està subjecte a una sèrie d'operacions bàsiques que cal programar i coordinar amb les màquines i amb els mitjans adequats per tal que es duguin a terme de manera eficient.

Aquestes són:

- Excavació
- Càrrega
- Transport
- Abocador

Excavació

Extracció del sòl per mitjans diversos en funció de l'envergadura i de les característiques del treball i de les seves condicions mecàniques. Són treballs específics d'excavació la formació de vasos sota rasant, les rases i els pous. La fotografia de l'esquerra de la pàgina següent mostra una retroexcavadora d'erugues treballant a la vora d'un talús.



Càrrega

Operació de transició per dipositar les terres sobre el mitjà de transport. Es pot realitzar directament amb la maquinària d'excavació o des d'un abassegament de terres que s'hagi realitzat prèviament.

A la fotografia central s'observa una pala carregadora omplint un dúmper. La fotografia de la dreta mostra la càrrega directa d'un camió des d'una retroexcavadora que està realitzant un rebaix.



Transport

Pot ser a l'interior de l'obra o a l'abocador. S'hi poden emprar màquines molt diverses: dúmpers, tragelles motoritzades, camions..., en funció del volum de terra generat i de la distància de transport.

Abocador

Un abocador controlat és la destinació final de les terres excavades que no tenen cabuda a la pròpia obra. Un abocador controlat és un espai preparat específicament per rebre, de forma segura i sense afectar el medi ambient, terres procedents de l'excavació, entre d'altres residus.

Les terres com a tals són considerades residus inerts i es poden emprar per cobrir residus orgànics.



Les fotografies anteriors mostren dos abocadors controlats. S'acostuma a aprofitar les depressions naturals del sòl o els forats que deixen antigues pedreres per ubicar-hi un abocador.



Per tal de garantir una rehabilitació correcta de l'espai resultant un cop clausurat l'abocador, se solen barrejar tongades de terres i de matèria orgànica compactada.

És necessari impermeabilitzar el fons i les parets dels abocadors per tal d'evitar la contaminació de les aigües freàtiques. Paral·lelament, s'han de recollir els líquids lixiviats i tractar-los, i deixar-hi respiradors per evacuar les emanacions de metà i cremar-les a la sortida. En funció de la quantitat de gas que l'abocador genera, es pot optar per aprofitar-lo.

La gestió dels residus de la construcció, entre ells les terres, està regulada pel Decret legislatiu 1/2009, de 21 de juliol, pel qual s'aprova el text refós de la Llei reguladora dels residus.

Cal que els professionals de la construcció siguin conscients de la seva responsabilitat mediambiental i participin activament en la selecció i en la separació dels residus a l'origen, a la pròpia obra, per mitjà de contenidors específics per a cada tipus de materials de rebuig.

3.8 Excavació de rases, pous i galeries

Exposades les particularitats dels grans moviments de terres, a continuació es detallen les característiques de l'excavació i les utilitats dels formats d'excavació més petits: les rases, els pous i les galeries.

Rases

Les rases són excavacions a cel obert en què predomina la longitud, d'amplada relativament estreta i de fondària variable segons les necessitats. A partir d'1,50 m de fondària, s'han de disposar estintolaments per garantir l'estabilitat de les parets i la seguretat dels operaris.

Es realitzen rases per:

- Allotjar les canalitzacions d'instal·lacions de tota mena: sanejament; subministraments d'aigua, de gas, d'electricitat, de telefonia, de fibra òptica, d'enllumenat públic, de semàfors, etc.
- Dur a terme fonaments, sabates contínues, bigues centradores i riostes.





Pous

Els pous es realitzen a cel obert i són excavacions en què predomina la fondària respecte de les altres dues dimensions. Poden ser de planta quadrada, rectangular o circular. La forma circular és la ideal perquè les empentes del sòl es compensen radialment.

En funció del seu diàmetre, es fan amb màquines excavadores convencionals o amb màquines de pilotar. Segons la fondària, el tipus de sòl que han de travessar i el seu diàmetre, es poden excavar amb camisa o sense.

La fotografia esquerra següent mostra una cullera de 2.500 mm de diàmetre durant l'excavació d'un piló. La fotografia de la dreta permet apreciar la perforació acabada.



Galeries

L'excavació en galeria és aquella que es fa sota terra i en la qual la longitud predomina sobre l'amplada i l'alçada. En funció de la naturalesa del sòl que es travessa, cal utilitzar apuntalaments i revestir les parets a mesura que l'excavació avança.

Les galeries no són freqüents en edificació però, en canvi, resulten imprescindibles per a les grans infraestructures col·lectives de transport i abastament, raó per la qual es disposa de maquinària altament especialitzada per realitzar-les amb eficiència i seguretat.

La fotografia esquerra de la pàgina següent mostra l'interior d'una claveguera registrable. La de la dreta, una galeria de serveis de subministrament elèctric.



3.9 Esponjament

L'esponjament equival a l'augment de volum, expressat en tant per cent, que experimenten les terres quan són extretes del seu lloc natural.

Per efecte del seu propi pes, les terres es van consolidant progressivament fins a adquirir un estat d'equilibri. Quan aquest és alterat per una excavació, s'incrementa el volum de terres extretes.

Els factors que fan que l'increment de volum sigui més o menys gran són la cohesió i l'angle de fregament intern.

Els sòls granulars solen tenir un esponjament més petit que els sòls coherents. Les roques compactes tenen un esponjament elevat, com es mostra a la taula següent.

Naturalesa de les terres	Àngle de talus natural α	Esponjament inicial en %	Esponjament final en %
Sorra fina i seca	10 a 20°	10	3
Sorra funa i mullada	15 a 25°	20	4
Grava mitjana humida	30 a 40°	25	4
Terra vegetal humida	30 a 45°	10	3
Terra vegetal molt compacta	40 a 50	65	10
Runes	40 a 50	50	15
Marga seca	30 a 45	50	8
Argila seca	30 a 50	50	15
Argila humida	0 a 20	25	8
Roques diverses	50 a 90°	50	10 a 20



L'esponjament disminueix a mesura que, a causa del pes propi o per accions externes, es produeixen compressions en el si de les terres remogudes. Apareixen els conceptes d'esponjament inicial i esponjament final, un cop s'han realitzat operacions de compactació.

3.10 Els reblerts

Els reblerts consisteixen en l'aportació de terres en una zona deprimida natural o en una excavació realitzada prèviament, amb el propòsit de definir un nou pla o de recuperar un d'existent prèviament.

Cal recordar que el sòl està format per aire, aigua i partícules sòlides, i que la dimensió dels grans és determinant en la velocitat amb què es produeix la compactació. Els sòls granulars es compacten immediatament gràcies a la seva permeabilitat elevada. Els sòls coherents (argiles i llims) requereixen un procés de compactació més llarg i curós, realitzat per tongades de 20 a 40 cm de gruix.

La forma més segura de compactar els sòls argilosos és la natural: deixar transcórrer un període de temps d'uns dos anys, per tal que es produeixi una compactació natural, amb la migració corresponent d'aire i d'aigua.

La compactació es pot accelerar emprant maquinària, però el seu resultat, en el cas de les argiles, no sol ser satisfactori, perquè s'aconsegueix una consolidació primària per migració de l'aire però no s'arriba a fer migrar l'aigua.

La conclusió és que, si es vol fer un reblert sense problemes d'assentaments, el millor és utilitzar sòls amb una marcada matriu granular.

3.11 Talussos provisionals

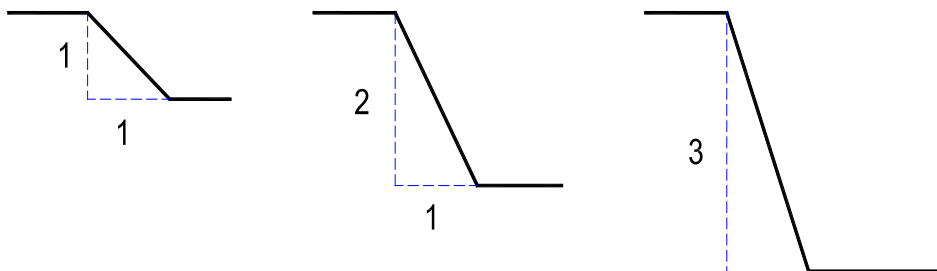
L'angle de fregament intern ϕ és una característica inherent a cada tipus de sòl. Si es fa un tall màximament vertical en el sòl, aquest angle és el que acabarà apareixent de forma natural en el terreny. Caldrà que transcorri un període de temps més o menys llarg, en funció del grau de cohesió del sòl.

Durant un espai de temps relativament curt –per exemple, el corresponent a la realització de fonaments i de contencions–, és possible superar l'angle de fregament intern, realitzant talussos provisionals amb pendents superiors a l'angle ϕ , prenent com a orientació l'equilibri superior de Rankine.

Els angles que cal adoptar en els talussos provisionals han de venir indicats per l'estudi geotècnic i, en cas que no hi siguin, se n'haurà de demanar l'ampliació pertinent a la persona que hagi signat l'estudi.

A tall orientatiu, es donen les proporcions següents:

Proporció 1:1	Sòls fàcilment deshonorables (fluixos)
Proporció 1:2	Sòls tous però cohesius
Proporció 1:3	Sòls compactes (cohesius i resistents a compressió)



3.12 Protecció permanent de talussos

Una de les solucions més econòmiques i de menys impacte ambiental per a determinats moviments de terres és deixar els talussos resultants protegits de l'erosió que provoquen els agents atmosfèrics.

Si es vol optar per aquesta solució, cal tenir en compte el següent:

- Que l'angle de talús escollit sigui similar al natural.
- Que la secció estratigràfica del vessant ho permeti.
- Que no hi hagi vetes o filtracions d'aigües freàtiques que puguin alterar l'estabilitat del talús.

Les solucions constructives són diverses:

- Plantació d'espècies vegetals
- Solucions mixtes amb malles i vegetació
- Formació d'un folre
- Col·locació d'una malla metàl·lica clavada i un posterior gunitat
- Disposició de malles de cables i xarxes de protecció per evitar esllavissaments en els vessats rocosos.





Les dues darreres fotos de la pàgina anterior i les dues d'aquesta, d'esquerra a dreta i de dalt a baix:

- La consolidació d'un talús amb una malla i vegetació
- Un folre realitzat amb un paviment de peces de formigó
- Dues fases d'un gunitat
- La protecció d'una paret rocosa amb xarxes subjectades amb cables fixats al parament amb bolons

3.13 Tècniques per millorar els sòls

En moltes ocasions, els sòls ofereixen, en el seu estat natural, unes prestacions portants molt baixes, que motivarien l'adopció de fonaments costosos, i fins i tot podrien fer inviables determinades obres.

En aquest apartat, s'estudien una sèrie de tècniques que permeten millorar les capacitats mecàniques del sòl de forma relativament econòmica. Aquestes són:

- Càrrega a tota la superfície
- Compactació dinàmica
- Vibrocompactació
- Jet grouting

Càrrega a tota la superfície

Si es disposa de temps, carregar el sòl amb acumulacions de grava durant un parell d'anys en el cas de les argiles produeix la migració de l'aigua intersticial i, en conseqüència, el seu assentament i la millora de la capacitat portant (fotografia de la pàgina següent esquerra).



Compactació dinàmica

La compactació dinàmica consisteix a aixecar grans masses, des de 40 fins a 200 t, a alçades d'entre 20 i 40 m, i deixar-les caure sobre el terreny a distàncies regulars. És un procediment que s'utilitza per millorar la capacitat portant superficial de grans extensions de sòl (fotografies superiors central i dreta).

Vibrocompactació

La vibrocompactació consisteix a introduir al sòl un potent vibrador. La introducció de vibradors es pot fer en sec o amb l'ajuda d'injeccions d'aigua a pressió.

El seu efecte redueix les forces d'equilibri entre els grans, cosa que en provoca la reducció del volum i la millora de la compacitat. La vibrocompactació directa només és apta per a sòls granulars amb un contingut de fins inferior al 10 %. En els sòls que tenen un contingut de fins d'entre el 12 i el 15 %, s'hi ha d'aportar graves.

La fotografia inferior esquerra mostra un aparell de vibrocompactació a punt per a ser introduït en el sòl.



Jet grouting

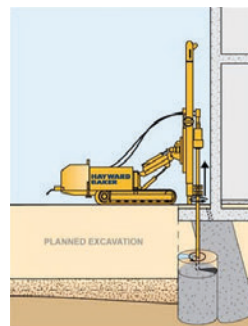
El *jet grouting* és una tècnica d'injecció en sòls granulars d'una vorada de ciment a molt alta pressió, de fins a 1.000 atm. D'aquesta manera, s'aconsegueix una



columna de sòl reforçada amb ciment, atès que el material situat al voltant de la injecció queda aglomerat i compactat.

L'operació es realitza en dues fases: perforació i extracció-injecció per rotació, com s'il·lustra al gràfic dret de la pàgina anterior. La fotografia inferior esquerra mostra l'efecte d'una aplicació de *jet grouting* com a generadora d'una columna compactada de sòl en un terreny sorrenc. La fotografia central mostra la potència dels injectors.

La tècnica del *jet grouting* també es pot emprar per recalçar fonaments, com es mostra al gràfic inferior dret.









La geotècnia orientada al disseny constructiu dels fonaments i dels sistemes de contenció

Aquest capítol és tant sols una introducció a conceptes i paràmetres geotècnics. Un major aprofundiment sobre el tema es desenvolupa en el llibre Sota rasant, Edicions UPC 2009.

4.1 El sòl com a primer material de construcció

Malgrat que el sòl és el primer material necessari per construir, ja que sense ell no hi ha cap possibilitat física d'assentar un edifici, el seu comportament mecànic ha estat, fins al primer terç del segle xx, un gran desconegut per als professionals de la construcció.

La varietat de situacions, materials i composicions que presenten els sòls va propiciar que, durant segles, la fonamentació dels edificis es reduís a experiències d'assaig i error.

L'única base científica sobre la qual fonamentar els fenòmens mecànics derivats de situar un edifici sobre un sòl era el concepte de pressió, ja conegut, que havien desenvolupat els arquitectes i els constructors romans.

Reduir la pressió amb mecanismes d'interposició, augmentant la secció de contacte entre l'edifici i el sòl va ser el camí que van emprendre, sense èxit, alguns tractadistes del segle xix, com Jean-Baptiste Rondelet (1743-1829), Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc (1814-1879) o Auguste Choisy (1841-1909). Varen construir lloses massisses per fonamentar els seus edificis, els quals invariablement s'esquerdaven, en no disposar llavors de formigó armat. El coneixement científic actual permet determinar els importants moments flectors, positius i negatius, als quals està sotmesa una llosa de fonamentació d'un edifici d'una certa entitat (7 a 10 plantes). La seva absorció requereix cantells de prop d'1 m i entre 40 i 60 kg d'acer per m³. Amb aquestes dades, es posa en evidència el desconeixement que hi havia a final de segle xix respecte del comportament mecànic del sòl i dels recursos constructius necessaris per afrontar-lo.

A mitjan anys quaranta del segle xx, els coneixements sobre mecànica de sòls s'estenen gràcies a la creació de nous aparells de prospecció i de mesurament. Es disposa de laboratoris i, cosa més important, els coneixements sobre mecànica de sòls passen a formar part dels programes d'ensenyament de les diferents escoles tècniques vinculades amb la construcció.

La primera referència per a l'aplicació de la geotècnia a les construccions arquitectòniques a l'Estat espanyol va ser la norma tecnològica NTE-CEG, publicada l'any 1975. Era de caràcter exclusivament orientatiu i no obligava en cap cas a fer un estudi geotècnic abans de construir un edifici. Malgrat la seva laxitud, el text es va mantenir invariable, fins que va aparèixer el CTE l'any 2006.

La justificació de les errades en l'elecció del tipus de fonament, dels sistemes de contenció o dels processos d'excavació es feia al·ludint als "vicis ocults" del sòl. Evidentment, aquest "recurs" ja no es pot argüir, perquè els mitjans tècnics a l'abast permeten parametritzar el comportament mecànic del sòl.

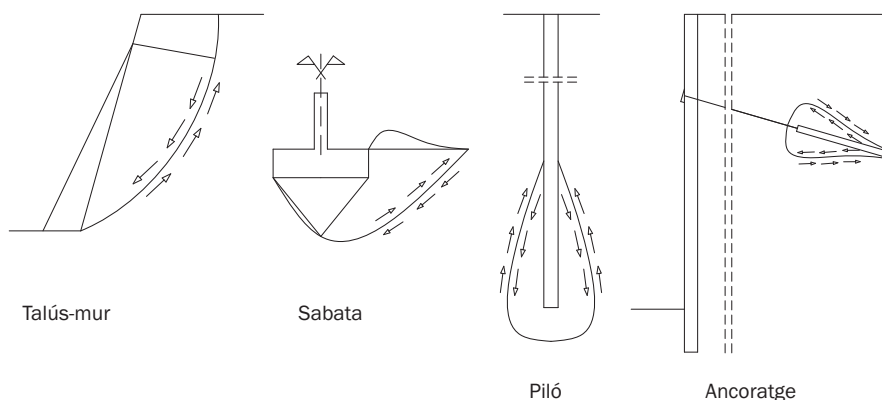
La instrucció EHE-98 (anterior a l'EHE-08, vigent avui) imposava, a l'article quart, relatiu als documents de projecte, la necessitat de fer un estudi geotècnic com a pas previ per realitzar el disseny dels sistemes de fonamentació.

El llibre 3 del CTE (2006), sobre seguretat estructural i fonaments, dedica el capítol 3 a l'estudi geotècnic. Aquest document suposa integrar, a escala normativa, la geotècnia de forma indissoluble al projecte.

4.2 La geotècnia

El conjunt de coneixements que permeten definir, per mitjà de paràmetres objectius, el comportament mecànic d'un tipus determinat de sòl es coneix amb el nom de geotècnia. La geotècnia és, doncs, una branca de la geologia. Aquesta es defineix com la ciència que estudia la composició, l'estructura i els processos que la Terra ha experimentat al llarg del temps.

Esquemes de fractura de sòl per esforç de tall





La parametrització mecànica del comportament del sòl és deguda a Karl von Terzaghi (1883-1963). L'any 1925, va publicar *Erdbaumechanik* ("Mecànica de sòls"). En aquesta obra, i en els nombrosos treballs que va desenvolupar posteriorment ell mateix i altres autors que l'han seguit, es posa de manifest un model de fallida dels sòls per esforç de tall, sigui quin sigui l'element constructiu que produeix la fractura, com es mostra al gràfic de la pàgina anterior.

La geotècnia es basa en tres suports fonamentals:

- **Els desenvolupaments teòrics.** Generen algorismes que permeten preveure el comportament del sòl en forma de capacitat portant, d'assentaments o de generació d'empentes, per citar-ne els aspectes més significatius.
- **La realització d'assaigs.** Atesa la diversitat de sòls, de circumstàncies de l'entorn i de requeriments dels edificis, la geotècnia necessita realitzar assaigs de camp i de laboratori per a cada cas concret, amb el propòsit d'establir paràmetres màximament precisos, per tal d'aplicar-los als algorismes teòrics.
- **L'experiència.** La relació existent entre els desenvolupaments teòrics, la determinació dels paràmetres i els resultats finals obtinguts permet extreure conclusions i actuar en conseqüència davant de situacions circumstancials, no sempre previstes, en les formulacions.

4.3 El sòl. Roques i terres

A priori, el concepte de *sòl* és genèric. Comprèn tots els materials que es troben a la superfície terrestre. Una primera aproximació permet identificar-hi dos grans grups: les roques i les terres.



Les *roques* tenen, dins un marge ampli de variabilitat, un aspecte compacte, una gran resistència a la compressió i duresa. Aquestes característiques són d'una entitat tal, respecte de les pròpies de les terres, que han fet necessari estudiar-les de forma específica sota el nom de "mecànica de les roques".

Les *terres* estan formades per agregacions de grans, provinents de la disgregació de les roques, separables per accions mecàniques més o menys senzilles. Les terres estan formades per aire, per aigua i per partícules sòlides. La presència abundant d'aire i d'aigua, ocupant els espais entre els grans, posa de manifest una porositat elevada freqüentment superior al 20 %. En geotècnia, les terres se solen denominar amb el nom genèric de *sòls*, materials clarament separats de les roques.



Les terres, en conjunt, constitueixen, el tipus de material més freqüent sobre el qual es construeix. Per a elles es reserva, en geotècnia, l'apel·latiu de "mecànica de sòls".

4.4 La geotècnia i les seves aplicacions pràctiques

Des de la perspectiva de l'edificació arquitectònica, és plausible fer una aproximació a la geotècnia definint-la com la ciència que estudia la resposta del sòl enfront d'una acció exterior. Aquesta acció és exercida, generalment, amb la implantació d'un edifici i la seva tramesa al sòl per mitjà dels sistemes de contenció i de fonamentació.

A continuació, es comenten les aplicacions pràctiques següents de la geotècnia:

- Control de les deformacions del sòl.
- Compatibilitat entre les deformacions del sòl i les estructures sustentades.
- Determinació d'empentes.
- Anàlisi i correcció dels efectes de la presència d'aigua en el sòl.
- Coneixement i control dels eventuais efectes químics del sòl sobre estructures enterrades.

Control de les deformacions del sòl

Si les accions exercides sobre el sòl són excessives, aquest es pot trencar, col·lapsar, i provocar danys a l'edifici. És necessari establir la càrrega de col·lapse del sòl, entesa com aquella en què un lleu increment sobre la tensió existent hi provoca assentaments significatius. Respecte de la tensió de col·lapse σ , s'estableix la tensió admissible σ_a , que s'obté dividint per tres la tensió de col·lapse.

Compatibilitat entre les deformacions del sòl i les estructures sustentades

El control de les deformacions del sòl i la seva compatibilitat amb les estructures que s'hi sustenten permet incidir en l'elecció del tipus de fonamentació –superficial, semiprofunda o profunda– i en el disseny i el dimensionament dels seus elements. Es tracta de controlar tant els assentaments generals com els diferencials

Determinació d'empentes

Determinar les empentes que es produeixen, a diferents profunditats, sobre els talussos és la base per dissenyar i dimensionar els mecanismes de contenció de terres. A aquest efecte, com que el sòl és un material compressible, s'analitzen les relacions existents entre els esforços de compressió i els d'expansió.

Anàlisi i correcció dels efectes de la presència d'aigua en el sòl

La geotècnia centrada en les construccions arquitectòniques analitza l'efecte de la presència d'aigua al sòl en forma líquida (nivell freàtic i venes) i els canvis de



comportament mecànic que originen, en determinats tipus de sòl, les variacions del seu grau d'humitat. El seu coneixement i la seva ponderació són imprescindibles en el disseny dels fonaments i en les contencions.

Coneixement i control dels eventuais efectes químics del sòl sobre estructures enterrades

La química intervé en la geotècnia per ajudar a determinar si un tipus concret de sòl conté ions, fonamentalment de clor o de sofre, en la seva composició o en l'aigua intersticial.

La presència de ions de clor o de sofre pot perjudicar la durabilitat de les estructures en contacte directe amb ells. Si se'n detecta la presència es poden triar els materials més idonis per a la confecció dels formigons que han de configurar els elements constructius que estaran en contacte directe amb un sòl químicament agressiu. En el cas dels clorurs, cal emprar ciments putzolànics i, en el cas dels sulfats, ciments elaborats a partir d'escòries d'alts forns, en l'elaboració del formigó.

4.5 Aproximació a les roques. Origen i comportament

A continuació, es detalla, de forma molt sintètica, un esquema sobre la formació dels grans grups de roques i les seves prestacions mecàniques.

Magmàtiques

Magmàtiques, també anomenades *eruptives*, *ígnies* o *endògenes*. Són les de formació més antiga, atès que les seves alteracions donen lloc als altres dos tipus de roques. Provenen de la solidificació de magmes situats a fondàries compreses entre 10 i 150 km de la superfície de la Terra. Exemples de roques magmàtiques són el granit, la sienita i el basalt. La fotografia inferior esquerra mostra el front de basalt sobre el qual s'assenta el poble de Castellfollit de la Roca (la Garrotxa) i la de la dreta correspon a una mostra de granit en què es poden apreciar els grans de quars, de feldspat i de mica.





Sedimentàries

Sedimentàries, exògenes o estratificades. Procedeixen de fragments de roques eruptives arrossegades per la gravetat, l'aigua i el vent, que s'han compost de nou per efecte de les pressions elevades que han experimentat en els dipòsits als quals les han conduït les accions mecàniques esmentades. És el cas de les roques calcàries, els gresos i les dolomites.

La fotografia inferior esquerra mostra la façana principal de la basílica de Santa Maria el Mar (Barcelona), construïda tota ella, com també la resta del temple, amb pedra arenosa de Montjuïc. La fotografia de la dreta mostra com es pot arribar a degradar aquest tipus de pedra per efecte de la seva porositat i per l'acció de l'aigua.



Metamòrfiques o estratocristal·lines

Són el resultat de la transformació experimentada per roques eruptives i/o sedimentàries, sotmeses a grans pressions i temperatures o a l'acció d'agents mineralitzadors, com aigües a temperatures elevades o vapors. Són exemples representatius de roques metamòrfiques els gneis, els marbres i les pissarres.

La fotografia inferior esquerra mostra les vetes d'un marbre com a resultat del procés de dissolució i posterior precipitació dels materials. La fotografia dreta correspon a una teulada de pissarra en fase d'execució.





Prestacions mecàniques de les roques

Les roques, per les seves notables característiques mecàniques, relatives a la duresa, la compacitat i la resistència a la compressió, no solen presentar problemes d'assentament als edificis si l'estrat és prou potent.

Resistències a compressió d'entre 30 i 50 N/mm², 300 i 500 kg/cm², són habituals en les roques compactes. Els valors de tensió admissible σ_a que presenta habitualment un sòl són d'entre 1,50 i 5,00 kg/cm², és a dir, entre cent i dues-centes vegades inferiors.

Cal habilitar procediments especials per a la fragmentació i l'extracció de les roques; els talls amb serres diamantades i/o els martells trencadors en són les tècniques més habituals. A les obres d'edificació, no se solen emprar explosius per disgregar les roques per raó de la proximitat de zones habitades. Els costos d'excavar roques compactes es poden triplicar i fins quadruplicar els d'un terreny fluïx.

Comportament mecànic de les roques

La interpretació del comportament mecànic conjunt de les roques és complex, perquè no es pot disposar de mostres representatives. Dins d'un mateix estrat, en poden aparèixer mostres amb resultats molt divergents, en funció del grau de fractura i de l'orientació dels estrats.

Si s'han de fer treballs d'excavació o de buidatge en terrenys rocosos dels quals es desconeix el comportament, es recomana comptar amb la col·laboració d'un geòleg expert que determini les mesures de seguretat apropiades per evitar accidents. Aquestes mesures solen consistir, sempre que sigui possible per raons d'espai, en la creació de talussos o, si no, en l'establiment de barreres de pilons perforats o de micropilons ancorats, segons quins siguin la intensitat i l'orientació de les de fractures i el grau de compacitat de la roca afectada.

4.6 La composició física dels sòls

Els sòls, col·loquialment anomenats *terres*, des del punt de vista de la geotècnia són agregats de grans de diversos diàmetres i formes. Els grans provenen de la disgregació de les roques per efectes físics i/o químics.

Entre els grans, hi ha aire i aigua, que ocupen els espais residuals en proporcions variables. El sòl és, doncs, un compost d'aire, aigua i partícules sòlides.

La composició, la mesura i la forma dels grans tenen incidència en els assentaments, en la velocitat amb què aquests es produeixen i en la circulació de l'aigua en el sòl. Els tres factors estan relacionats entre ells.



4.7 La classificació dels sòls

En funció de la seva formació, els sòls es classifiquen en tres grans grups:

- Residuals
- Transportats
 - Per gravetat
 - Per aigua
 - Per vent
- Orgànics

Sòls residuals

Són els que procedeixen de l'alteració de la roca base al lloc d'origen. Als peus del talussos (fotografia inferior esquerra) o a les zones superiors dels massissos rocosos (fotografia de la dreta), s'acumulen materials disgregats, procedents de la roca base, molt més tous que aquesta. Els materials disgregats acostumen a tenir poca potència. Si s'excaven, el més habitual és trobar-hi ràpidament roca sana.

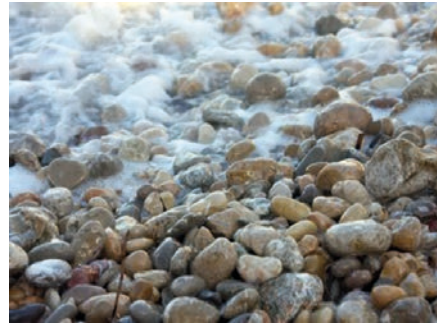


Sòls transportats

Són aquells que han experimentat un desplaçament en relació amb el punt d'origen de la roca base.

El transport es pot produir per efecte de la gravetat, com és el cas dels sòls col·luvials (fotografia de l'esquerra de la pàgina següent). En funció del seu diàmetre, es generen *bolos*, graves i sorres d'arestes cantelludes.

Si el transport s'ha realitzat per mitjà de corrents d'aigua, els sòls resultants es classifiquen com al·luvials. Es caracteritzen no tan sols pel seu diàmetre, sinó també per les seves formes arrodonides, i s'anomenen genèricament *còdols* (fotografia dreta següent). Igualment, en funció del seu diàmetre, es distingeixen entre *bolos*, graves i sorres, i, dins dels sòls al·luvials, es consideren fraccions encara més fines, com els llims i les argiles. El color terrós de l'aigua de la fotografia de l'esquerra de la pàgina següent és degut a la suspensió de grans de llims i d'argila. Els llims i les argiles, per la seva reduïda capacitat portant i la seva facilitat de deformació, requereixen fer estudis detallats a l'hora de fonamentar sobre ells amb garanties. A la fotografia de la dreta, es pot observar que s'han produït importants retraccions del sòl argilós a causa de l'assecamment.



Els sòls característics dipositats per efecte del vent s'anomenen *loess*. Són el resultat del transport de sorres molt fines i homogènies. Tenen poca presència a la península Ibèrica i, en canvi, són molt abundants als països centreeuropeus. A les fotografies inferiors, es pot veure la diferència entre l'aspecte compacte del *loess* quan està mullat (a l'esquerra) i la imatge pulverulenta que ofereix quan està sec (a la dreta).



Sòls orgànics

Hi predomina la presència de matèria orgànica, éssers vius d'origen animal o vegetal, en fase de descomposició i mineralització. Es tracta de sòls en període de formació i d'assentament. Per tant, tenen una capacitat portant molt baixa i, en principi, no són recomanables per fonamentar-hi cap tipus d'edifici d'una certa entitat.



En cas que s'hagi de fonamentar sobre aquest tipus de sòl, caldrà fer-ne una fonamentació profunda, amb pilons sustentats sobre estrats resistents de graves o de roques.

La fotografia inferior esquerra mostra una zona d'aiguamolls formada per sediments recents, amb un alt contingut de matèria orgànica en descomposició. La fotografia de la dreta correspon a una secció de sòl orgànic. El color negrós i una olor característica són indicis inequívocs de matèria orgànica en descomposició.



Els sòls orgànics, especialment a les capes superficials, es troben en procés de consolidació, raó per la qual poden generar un fregament negatiu sobre els pilons. El fregament negatiu comporta l'arrossegament del piló cap a l'interior de la terra, en comptes de facilitar la seva sustentació per fregament.

4.8 Propietats comunes als sòls

A continuació, per completar el coneixement general dels sòls, es fa referència a tres propietats que els són comunes:

- Baixa compacitat
- Facilitat d'excavació
- Una certa homogeneïtat. Mostres representatives.

Baixa compacitat

Aquest concepte respon a la capacitat que tenen els sòls de deformar-se de forma pràcticament irreversible, fins i tot quan estan sotmesos a tensions reduïdes. A tall d'exemple, l'impacte d'un martell sobre un sòl produeix una marca, causada per la migració d'aigua, que pràcticament no es recuperarà.

Facilitat d'excavació

Els sòls es poden excavar amb mitjans mecànics convencionals. Les màquines dissenyades per realitzar excavacions i moviments de terres tenen una capacitat de penetració limitada en el terreny.

A efectes pràctics, la diferència entre un sòl i una roca ve definida per la possibilitat, o no, de realitzar una activitat determinada amb una cullera estàndard de



la pròpia màquina. Es considera que el material d'excavació és una roca quan la cullera s'ha de canviar per un martell trencador.

Així doncs, la mateixa màquina, equipada amb una cullera o amb un martell trencador, marca la diferència entre un sòl i una roca (fotografies inferiors).



Una certa homogeneïtat. Mostres representatives

Els sòls, malgrat que poden estar constituïts per grans de mides, formes i composicions químiques molt diferents, tenen la propietat –per cert, molt apreciable– que l'assaig d'un conjunt de mostres petites permet obtenir resultats representatius del comportament mecànic que es pot esperar del conjunt d'un massís, d'un talús o d'un estrat.

4.9 Propietats específiques dels sòls

En aquest apartat, es fa referència a les propietats que permeten identificar completament els sòls a partir del coneixement de les característiques físiques i químiques dels materials que els componen, de les circumstàncies en què es troben a la natura, i de les característiques vinculades al seu comportament mecànic, sobre la base d'uns paràmetres mesurables físicament. Així, les seves propietats específiques poden ser:

- Intrínseques
- D'estat
- Geotècniques

Propietats intrínseques

Les propietats intrínseques dels sòls són les que tenen l'origen en les seves característiques físiques i en la constitució química dels materials que els conformen.

Es tracta d'estudiar al laboratori simplement els materials constitutius, amb independència del grau de compressió a què estigui sotmesa la mostra a l'estrat corresponent o del percentatge d'humitat que pugui tenir en el moment de l'extracció.



Per definir les propietats intrínseques d'un sòl, se n'estudien els elements següents:

- Corba granulomètrica
- Forma dels grans
- Composició química i mineralògica
- Contingut de matèria orgànica
- Presència de clorurs i sulfats

Propietats d'estat

Les propietats d'estat descriuen les circumstàncies en què es troba el sòl en el seu estat natural. Per determinar les propietats d'estat, cal disposar de mostres inalterades al laboratori.

Una mostra inalterada d'un sòl és aquella que conserva les condicions d'estructura, densitat humitat, granulometria i components químics estables. La seva obtenció, la preparació i la conservació, per tal de garantir-ne la inalterabilitat, es realitzen durant la campanya de prospecció, d'acord amb una sèrie de protocols que no són objecte d'aquest estudi. Entre les propietats d'estat es troben:

- Densitats
- Nivell freàtic
- Situacions circumstancials

Propietats o característiques geotècniques

Les propietats o característiques geotècniques d'un tipus de sòl determinat ajuden, en conjunt, a definir la seva reacció, és a dir, el seu comportament mecànic enfront d'una sol·licitació determinada.

Es tracta de paràmetres mesurables físicament. Per tant, són aplicables a algorismes de càlcul. També s'anomenen *paràmetres geotècnics*. Els més habituals són els següents:

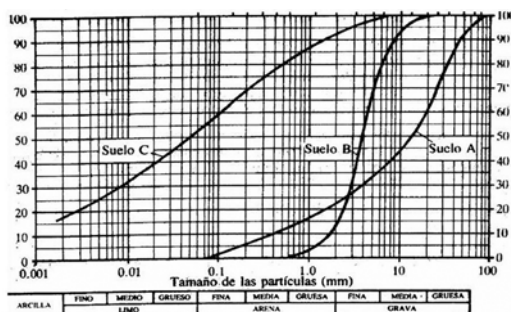
- Resistència a la compressió. Tensió admissible
- Resistència a l'esforç tallant. Angle de fregament intern i cohesió
- Compressibilitat. Mòdul edomètric
- Permeabilitat

4.10 Sobre les propietats intrínseques

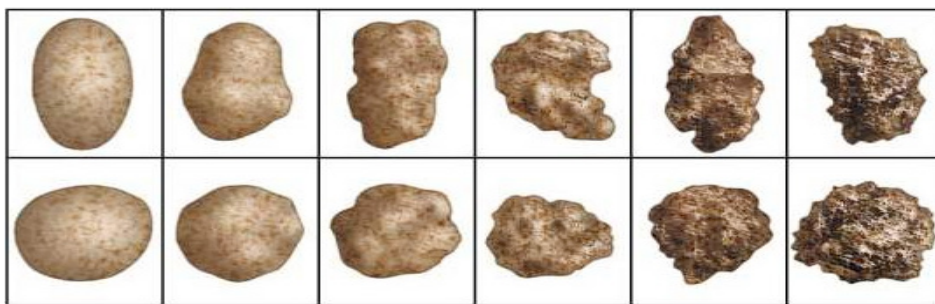
A continuació, es descriuen els mecanismes i els recursos tècnics necessaris per establir, definir i valorar les propietats intrínseques d'un sòl.

Corba granulomètrica

La corba granulomètrica s'obté utilitzant garbells normalitzats (fotografia esquerra de la pàgina següent), els quals permeten establir relacions entre les dimen-



La forma dels grans (grans rodats, amb arestes, lenticulars, etc.) té incidència en la porositat i en la celeritat de la resposta mecànica del sòl, en forma d'assentaments més o menys acusats, o més o menys ràpids. Els grans es caracteritzen en funció de la seva aproximació (alta o baixa), l'esfericitat i la presència més o menys marcada d'arestes. A la fotografia següent, es reproduïen uns models de grans: a la part superior, hi ha els de baixa esfericitat, mentre que a la fila inferior hi ha els d'alta esfericitat. Les arestes són creixents d'esquerra a dreta.



L'anàlisi química de les partícules del sòl i de l'aigua que les envolta resulta determinant per detectar la presència de clorurs i/o sulfats que podrien malmetre els elements constructius en contacte directe amb el sòl. La seva detecció permet adoptar mesures de correcció adequades.



La composició química dels materials del sòl i la seva porositat tenen incidència en la densitat, i també permeten detectar i avaluar eventuais continguts de matèria orgànica.

Contingut de matèria orgànica.

En general, els sòls amb un contingut elevat de matèria orgànica no són aptes per fonamentar, perquè es troben en procés de formació i, per tant, no són estables. Els sòls que han adquirit estabilitat com a conseqüència del pes dels estrats que graviten sobre ells s'anomenen *sòls normalment consolidats*.

Presència de clorurs i de sulfats.

La presència de ions clorur o sulfat en el sòl o en el aigua intersticial es determina analíticament per tal de dissenyar els formigons més adients per a les obres en contacte amb el sòl.

En presència de clorurs s'utilitzen ciments putzolànics. Si es detecten sulfats els formigons han d'elaborar-se amb ciments d'escòries d'alts forns. El ciment pòrtland es apte pels altres tipus de sòl.

Emprar un ciment inadequat per confeccionar formigons soterrats pot comportar el seu ràpid deteriorament per accions químiques.

4.11 Sobre les propietats d'estat

Les propietats d'estat d'un sòl estan influenciades pel percentatge d'aigua continguda als seus porus, per l'existència de nivell freàtic i per les circumstàncies imposades per les edificacions veïnes.

Segons el grau de presència d'aigua als porus d'un sòl, es poden considerar fins a cinc densitats diferents, que es detallen a continuació:

Densitat en estat natural

És la que s'obté pesant un volum determinat d'una mostra inalterada d'un sòl, és a dir, que conservi la humitat natural. Habitualment, s'expressa en kN/m^3 , Ton/m^3 o g/cm^3 . Es representa amb la lletra grega *gamma* i el subíndex *n*: γ_n .

Densitat seca

Es calcula eliminant tota l'aigua d'una mostra d'un volum determinat per mitjà del seu assecatge total en una estufa i després pesant-la. És el valor més baix de la densitat d'un sòl no submergit. Es representa amb la lletra grega *gamma*: γ .



Densitat saturada

Consisteix a submergir una mostra en aigua, de volum conegut, fins a aconseguir que tots els espais entre els seus grans quedin ocupats per aquesta. El pesatge de la mostra permet determinar la densitat del sòl en grau de saturació. La diferència entre el valor obtingut per a la densitat saturada i la seca dóna el percentatge de porositat del sòl. La porositat n d'un sòl en estat natural afecta valors compresos entre el 25 i el 50 %, en el cas de les sorres, i entre el 30 i el 60 %, si es tracta d'argiles. Es representa amb la lletra grega *gamma* i el subíndex s : γ_s .

Densitat submergida

És la resultant de canviar l'aire per l'aigua com a fluid de referència en el mesurament dels pesos de les mostres. Pel principi d'Arquimedes, la densitat de la mostra, lògicament saturada, es veu disminuïda pel pes del volum desplaçat. El valor obtingut, γ' , és el menor del conjunt de densitats aplicables a un sòl. La densitat de l'aigua, 1,00 Ton/m³ o 1,00 g/cm³, està representada a l'expressió per γ_w .

$$\gamma' = \gamma - \left(1 - \frac{n}{100}\right)\gamma_w$$

El valor de la densitat submergida s'utilitza, en el disseny de sistemes de contençió, per determinar les empentes que genera un sòl situat sota el nivell freàtic. Al valor obtingut de l'empenta del sòl submergit, cal afegir-hi l'empenta ocasionada per la pressió hidrostàtica de l'aigua. La suma d'aquestes dues empentes és superior a la que generaria un sòl en estat natural.

Densitat de les partícules sòlides

La densitat de les partícules sòlides, γ_{sol} , s'obté al laboratori descomptant del volum de la mostra el percentatge corresponent als porus. Així doncs, es tracta del valor màxim, entre les diverses densitats exposades, d'un tipus de sòl determinat.

Nivell freàtic

El nivell freàtic és la cota, mesurada des de la superfície del terreny, a partir de la qual el sòl apareix saturat d'aigua. En altres paraules: el nivell freàtic correspon a la superfície d'equilibri entre la pressió atmosfèrica i la superfície de l'aigua.

Aquestes situacions es donen en zones properes a rius, a llacs o al mar. El nivell freàtic pot variar substancialment segons les estacions i, fins i tot, a prop del mar. A més, amb independència del cicle de les marees, pot experimentar oscil·lacions per efecte dels temporals.



La presència de nivells freàtics en cotes properes a la superfície, fotografies superiors, constitueix una dificultat afegida als processos d'edificació que s'han de desenvolupar sota rasant. Per tant, és clau conèixer-los, per al disseny tant del sistema de fonamentació pròpiament dit com de les fases, els mètodes i els procediments per a la seva execució.

Situacions circumstancials

Entre aquestes hi ha els efectes provocats per les edificacions veïnes. Aquests efectes se solen manifestar en forma d'increments de les empentes que han de suportar les contencions. Paral·lelament, requereixen utilitzar procediments i tècniques constructives més conservadores del que és habitual per tal d'evitar lesions o danys col·laterals als edificis existents.

Els abatiments del nivell freàtic que es realitzen sovint en zones en què és imperatiu construir sota rasant acaben afectant el contingut d'aigua del sòl que suporta els edificis veïns i hi poden causar col·lapses més o menys acusats.

Finalment, entre les propietats d'estat, cal considerar, especialment a les zones urbanes, l'existència d'obres subterrànies, com galeries, túnels, pous, clavegueram, etc. La seva presència, a més de constituir un factor més de risc que convé controlar, condiona la possibilitat d'utilitzar ancoratges per estabilitzar provisionalment les contencions.



La fotografia superior esquerra correspon a la realització d'una barrera de micropilons al costat d'una paret mitgera com a pas previ per realitzar una excavació



segura atès que, convenientment estintolats, contindran l'empenta de la construcció veïna. Els micropilons es realitzen pràcticament sense impactes ni vibracions, de manera que no afecten les construccions veïnes, encara que aquestes no estiguin en bon estat de conservació.

La fotografia central mostra la col·locació de la gàbia d'armadura d'un batatge de mur pantalla tangent a l'edificació veïna. El fet d'actuar en fronts reduïts i alterns redueix el risc de descompressió del sòl.

Per realitzar l'extracció de terres del vas i contrarestar els esforços circumstancials, cal recórrer a ancoratges injectats en el sòl o, com s'observa a la fotografia de la dreta, a sistemes d'estintolament provisional. Aquests elements seran substituïts, en la fase definitiva, pels sostres.

4.12 Sobre les propietats o característiques geotècniques

En aquest apartat, es fa referència als aspectes mecànics del sòl que són mesurables físicament, com:

- La resistència a la compressió
- La resistència a l'esforç de tall i la seva relació amb l'angle de fregament intern i la cohesió
- La compressibilitat i la seva relació amb el mòdul edomètric
- La permeabilitat

Resistència a la compressió

El valor de la resistència a la compressió d'un sòl es correspon amb el valor numèric obtingut en una situació immediatament anterior al col·lapse. S'entén per col·lapse d'un sòl aquella circumstància de compressió en què un increment petit en la càrrega comporta una deformació desproporcionada del sòl, fins a aconseguir un nou estat d'equilibri.

Cal recordar que la capacitat portant d'un sòl millora a mesura que és comprimit, ja que es produeix, en primer lloc, la migració d'aire i, posteriorment, la d'aigua, cosa que en redueix la porositat inicial.

La resistència a la compressió s'expressa en unitats de pressió. Com a unitats, es poden utilitzar indistintament en els càlculs kN/m^2 Ton/m^2 o kg/cm^2 .

De la resistència a la compressió, σ , s'obté, dividint-la per tres, la tensió admissible, σ_a . Aquest valor és conegut i emprat en la verificació de les tensions de contacte entre el fonament i el sòl. Garanteix deformacions del sòl, en forma d'assentaments, inferiors a 2,5 cm.

Les fotografies següents mostren, en forma d'esquerdes, els efectes resultants en els edificis de la incompatibilitat de les deformacions entre aquests i el sòl quan es produeixen situacions de col·lapse.



Resistència a l'esforç tallant. Angle de fregament intern i cohesió

Al principi del capítol, s'ha indicat –i s'ha modelitzat per mitjà d'uns gràfics– que els esforços de tall assenyalen la fricció que es provoca entre la porció de sòl que es desplaça i la que es manté inalterada quan es produeix el trencament d'un sòl.

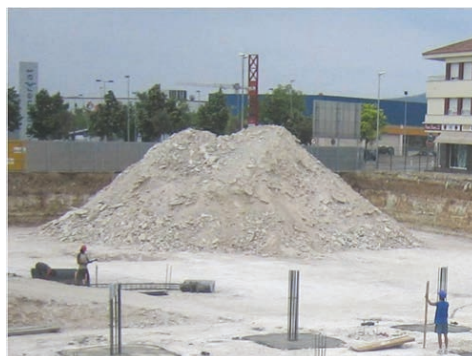
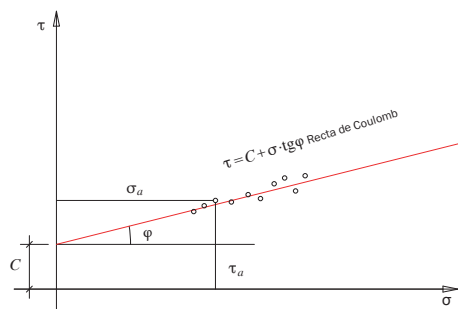
La resistència d'un sòl a l'esforç de tall cal determinar-la en un laboratori per mitjà d'aparells com la caixa de tall directe, o aparell de Casagrande, i el triaxial.

Amb els resultats dels assaigs de la resistència a l'esforç tallant s'obtenen, per a cada tipus de sòl, dos paràmetres geotècnics: l'angle de fregament intern, φ , expressat habitualment en graus sexagesimals, i la cohesió, c , indicada amb unitats de pressió N/mm^2 , kg/cm^2 o Ton/m^2 . Ambdós valors tenen aplicació en la determinació de les empentes que un massís determinat de terres pot exercir segons la seva alçada.

Els resultats dels assaigs de la caixa de Casagrande generen un núvol de punts alineats que, units, formen una recta anomenada *recta de Coulomb*.

La recta de Coulomb (v. gràfic inferior esquerre) es desenvolupa sobre uns eixos de coordenades. A l'eix d'ordenades se situen els esforços tangencials, τ . Al de les abscisses, es col·loquen els esforços de compressió, σ . En cas que la cohesió, c , sigui igual a zero, la recta de Coulomb passa per l'origen de coordenades.

Aquest és el cas del sòl fotografiat a la dreta, en què es pot apreciar l'angle de fregament intern, φ .





L'angle de fregament intern, ϕ , és format, respecte de la horitzontal, per la recta que uneix els diferents parells de valors de compressió i de tall que ocasionen el trencament de les mostres de sòl analitzat.

La **cohesió** és la propietat que tenen determinats tipus de sòl, especialment les argiles i, en menor grau, els llims, per absorbir esforços tangencials o de tall. El seus valors són relativament baixos: difícilment superen els $0,1 \text{ N/mm}^2$, equivalents a 1 kg/cm^2 , i habitualment es mouen entre els $0,01$ i els $0,050 \text{ N/mm}^2$ (1 i $0,5 \text{ kg/cm}^2$, respectivament).

La fotografia inferior esquerra correspon a una argila compacta. El seu grau de cohesió permet efectuar-hi un tall vertical, durant un temps limitat, de més de 6 m d'alçada. La fotografia de la dreta pertany a un sòl sorrenc i, com es pot apreciar, en no tenir cohesió, no s'hi poden fer talls verticals.



En la cohesió dels sòls, són determinants dos aspectes: la dimensió dels grans i la presència d'aigua. Els grans de les argiles tenen diàmetres de l'ordre dels microns. Estan compresos entre 2μ i valors inferiors a $0,2 \mu$. En aquestes situacions, es produeixen, entre els grans i les molècules d'aigua, enllaços complexos d'origen electroquímic.

La mesura dels grans permet establir una nova classificació dels sòls: els que presenten cohesió i els que no.

Els que pertanyen al primer grup s'anomenen *sòls coherents*. Són sòls coherents les argiles i els llims.

Els sòls sense cohesió o, el que és el mateix, amb cohesió zero, s'anomenen *sòls granulars*. Són sòls granulars les sorres i les graves.

La compressibilitat i la seva relació amb el mòdul edomètric

Els sòls, per la seva composició heterogènia d'aire, aigua i partícules sòlides, són materials de caràcter plàstic. Aquest fet vol dir que no tenen la proporcionalitat entre tensions i deformacions que presenten els materials elàstics.



Per tant, s'ha d'intentar controlar, en primer lloc, l'ordre de magnitud dels assentaments dins d'uns paràmetres tolerables per les estructures d'edificació. Els assentaments uniformes acceptables s'estimen en 2,5 cm, ampliables fins a 5 cm en el cas de les lloses. Aquest fet comporta analitzar al laboratori les deformacions dels sòls dins d'uns valors de tensió compresos entre 0,01 i 1 N/mm² (0,10 i 10,00 kg/cm², respectivament).

Un altre aspecte que cal controlar, segons la compressibilitat del sòl, són els assentaments diferencials. Es defineixen com la diferència de nivell que hi ha entre dos punts inicialment anivellats d'un edifici, separats entre ells una distància L.

A títol indicatiu, el mesurament dels assentaments diferencials i els seus efectes són els següents:

- L/1000. Límit d'assentaments diferencials que s'aplica a les obres de tipus monumental o extraordinari.
- L/500. Valor que garanteix la compatibilitat entre materials portants i portats en els edificis corrents.
- L/300. Es produeixen esquerdes en els tancaments. En principi, són danys reparables tan bon punt el sòl s'ha estabilitzat.
- L/200. El quadre patològic és generalitzat. Les esquerdes afecten els tancaments i l'estructura. Es considera el valor límit per intentar fer reparacions.
- L/150. Lesions irreparables. Enderroc.

El **mòdul edomètric** és un dels paràmetres geotècnics que permet determinar el comportament mecànic dels sòls. Equival, amb grans matisos, al mòdul elàstic o mòdul de Young dels materials que presenten elasticitat. És un valor numèric que permet estimar els assentaments d'un estrat sotmès a una tensió permanent durant un llarg període de temps.

Habitualment, el valor del mòdul edomètric dels sòls es determina a l'esglaió de càrrega dels edòmetres, comprès entre 0,010 i 1,00 N/mm². Inclou amb escreix l'àmbit de tensions dels fonaments superficials, que se situa entre els 0,050 i els 0,50 N/mm². Es considera que les tensions de contacte fonament-sòl superiors a 0,5 N/mm² només s'apliquen sobre roques.

Dins d'aquest esglaió de càrregues, es pot considerar lineal la relació entre la tensió i la deformació del sòl, aspecte que facilita molt els càlculs.

A partir de valors del mòdul edomètric al voltant de 5,00 N/mm², un sòl comença a ser acceptable per fonamentar-hi. Una argila tova té un mòdul edomètric inferior a 1,00 N/mm². Una argila molt rígida pot presentar un mòdul edomètric proper als 20,00 N/mm². Els sòls granulars presenten mòduls edomètrics que oscil·len entre els 10,00 i els 300 N/mm².



Permeabilitat

La permeabilitat és la característica que presenten alguns materials per facilitar el pas de líquids o de gasos a través seu. En el cas dels sòls, el líquid de referència és l'aigua. L'aigua, en circular a través d'un sòl, ocupa els espais entre els grans, atès que aquests estan formats per partícules sòlides i, per tant, impermeables.

La compressibilitat i la permeabilitat dels sòls estan directament relacionades, per les raons següents:

- Les deformacions del sòl es produeixen amb més o menys celeritat segons la dimensió dels seus grans.
- Existeix una correlació entre els fenòmens de deformació del sòl i la migració d'aire (consolidació primària) i d'aigua (consolidació secundària).
- La consolidació secundària de les sorres es produeix de forma paral·lela al procés de construcció.
- La consolidació secundària de les argiles (sòls formats per grans molt petits) requereix períodes de temps llargs, de fins a un parell d'anys.

Per tant, cal determinar a quina velocitat circula l'aigua, especialment en les argiles, per ponderar les relacions deformació-temps en els sòls.

La permeabilitat d'un sòl es determina al laboratori per mitjà d'uns aparells anomenats *permeàmetres*, en què s'estableix el temps que necessita l'aigua per travessar una mostra de sòl, sota una pressió controlada.

El valor numèric obtingut de l'assaig s'anomena *coeficient de permeabilitat*, k , i s'expressa en unitats de velocitat (cm/s).

El marge de la permeabilitat dels sòls és amplíssim. Mentre el coeficient de permeabilitat de la grava oscil·la entre 10^{-1} i 10^{-2} cm/s, el de l'argila se situa entre 10^{-7} i 10^{-11} cm/s.

Per donar una idea física del que representen aquests valors de velocitat de circulació de l'aigua dins una argila, el valor d' $1/10^{-6}$ cm/s equival a una velocitat aproximada de 30 cm per any.

4.13 Classificació dels sòls segons la mida dels seus grans, elaborada per Albert M. Atterberg (1846-1916)

Les classificacions dels sòls es realitzen a partir de l'escalat de la dimensió dels seus grans. La que té més difusió és la que elaborà l'agrònom suec Albert M. Atterberg l'any 1905, que consisteix en una progressió geomètrica de raó 1/10.



Es detalla a la taula següent:

TIPUS DE SÒL. DIMENSIÓ DELS GRANS

- GRANULAR
 - Blocs > 200 mm \varnothing
 - Graves > 20 < 200 mm \varnothing
 - Gravetes > 2 < 20 mm \varnothing
 - Sorres grosses > 0,2 < 2 mm \varnothing
 - Sorres fines > 0,02 < 0,2 mm \varnothing
- COHERENTLlms > 2 < 20 μ \varnothing
 - Argiles > 0,2 < 2 μ \varnothing
 - Ultraargiles < 0,2 μ \varnothing

4.14 Previsió de les deformacions d'un sòl sotmès a tensió

En els materials elàstics, és d'aplicació l'anomenada *lleï de Hooke* per determinar les deformacions sota tensió.

$$\delta = \frac{PL}{AE}$$

on:

- δ = deformació longitudinal de l'element
- P = càrrega o esforç que s'hi aplica
- L = longitud de l'element del qual es vol mesurar la deformació
- A = secció de l'element
- E = mòdul elàstic o de Young

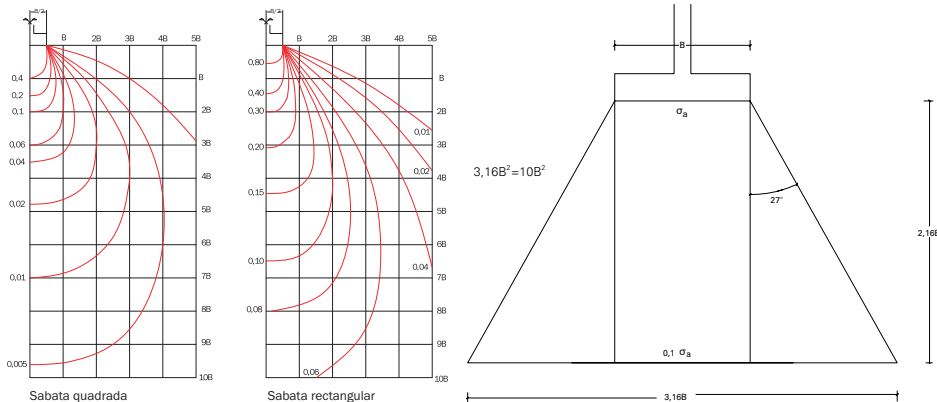
Per determinar la deformació previsible dels sòls, la formulació és la mateixa; únicament s'ha de canviar el mòdul elàstic, E, pel mòdul de deformació, E', també anomenat *mòdul edomètric*.

En l'aplicació pràctica sobre els sòls, el quocient P/A és equivalent a la tensió de contacte sabata-sòl, σ . L és la fondària del sòl afectada per l'efecte compressiu de la fonamentació. A efectes pràctics, s'adoptava com a valor de L la distància, mesurada verticalment, des de la base de la sabata (pressió de contacte, σ) fins que la pressió disminueix a 0,1 σ .

La formulació resultant per determinar els efectes de la compressibilitat en els sòls seria:

$$\delta = \frac{\sigma L}{E'}$$

Com que la fondària L d'efectivitat de la fonamentació depèn d'una formulació complexa (Boussinesq), es poden emprar gràfics, com els inferiors, en què s'estableixen les isòbares de pressió-fondària corresponents als tipus de fonaments més comuns.



De forma aproximada, es pot suposar que el repartiment de càrregues sota la base de les sabates es produeix en forma de piràmide truncada, amb un angle de 27° respecte de la vertical (gràfic superior dret). L'adopció d'aquest angle i no un de proper, de 30° , s'explica perquè $\text{tg } 27^\circ = 0,50$ i simplifica els càlculs. En aquestes circumstàncies, la fondària L és de 9 vegades l'amplada B de la sabata si es tracta de sabates lineals i de $2,16 B$ en el cas de les sabates quadrades aïllades. La comparació d'aquestes dades aproximades amb els gràfics permet validar-ne l'aplicació pràctica.

Les primeres conclusions que es poden extreure d'aquests valors són:

- A igualtat de tensió i amplada, les sabates lineals tenen més assentament que les quadrades aïllades perquè afecten més fondària de sòl.
- Es poden produir assentaments entre sabates de dimensions molt dispar, malgrat que tinguin una tensió de contacte sabata-sòl molt similar, en funció del diferencial existent en les longituds L de la fondària d'afectació.

Els estudis geotècnics faciliten una tensió admissible, σ_a , que garanteix assentaments compatibles amb l'estructura, habitualment inferiors a 2,5 cm. El projectista es limita, en la majoria dels casos, a aplicar aquest valor en el disseny dels sistemes de fonamentació directa, sense verificar els assentaments.

Per completar l'assimilació entre les formulacions de les deformacions d'un material elàstic i un sòl, cal exposar com es determina el mòdul de deformació, E , del sòl.

Al laboratori, el mòdul de deformació d'un sòl es determina amb un aparell anomenat *edòmetre*. El que fa aquest aparell és reproduir l'efecte d'una pressió continuada sobre el sòl. S'utilitza una mostra constreta per un anell. La mostra és comprimida entre dues plaques poroses per tal de facilitar la migració d'aigua.

El mòdul de deformació, E , d'un sòl es defineix, en els diferents graons de càrrega, com el quocient entre l'increment de la pressió i l'escurçament unitari de la mostra.

$$E' = \frac{\Delta \sigma}{\frac{\Delta h}{h}}$$



4.15 Caracterització dels sòls coherents. Els límits d'Atterberg, l'àbac de Casagrande i el triangle de Feret

La caracterització dels sòls coherents, les argiles i els llims es basa en l'estudi del seu comportament en funció del contingut d'aigua.

A partir de la disposició d'una mostra d'argila, si es barreja amb una quantitat suficient d'aigua, s'acaba comportant com un líquid; en canvi, si s'asseca, adquireix la consistència d'un material sòlid. Elegint, en percentatge, una quantitat intermèdia d'aigua, similar a la del seu estat natural, se n'obté una massa pastosa, plàstica.

Prenent com a referència l'experiència descrita, és possible distingir tres estats de consistència en les argiles i en els llims: líquid, plàstic i sòlid.

Els límits d'Atterberg estableixen en quins percentatges d'humitat de les mostres es produeix el canvi d'estat. Ofereixen una orientació valuosa respecte al comportament mecànic de les argiles i els llims.

Els límits d'Atterberg es refereixen a dos valors d'humitat.

- W_L = límit líquid. És el percentatge d'humitat que separa l'estat líquid del plàstic.
- W_p = límit plàstic. És el percentatge d'humitat que separa l'estat plàstic del sòlid.

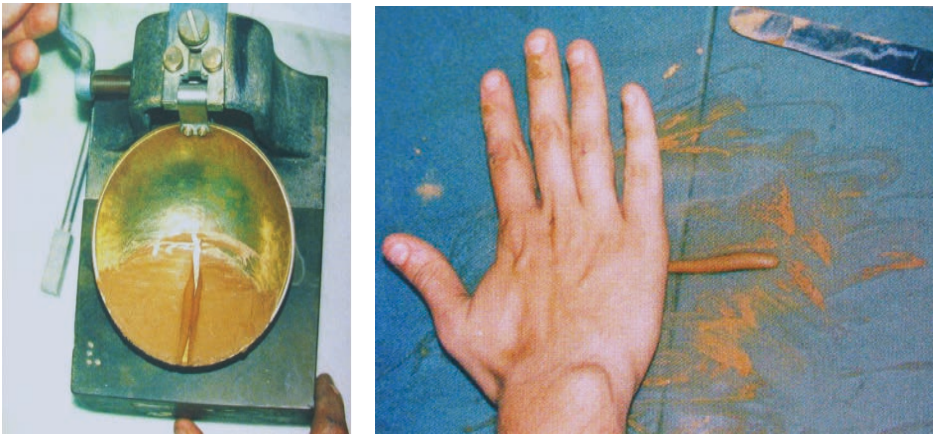
Una altra dada d'interès s'obté de la diferència entre els valors dels límits líquid i plàstic. És l'anomenat *índex de plasticitat*.

$$I_p = W_L - W_p$$

L'índex de plasticitat expressa el camp de variació de la humitat en un sòl que es comporta com a material plàstic.

La fotografia esquerra de la pàgina següent correspon a una cullera de Casagrande. Consisteix en un bol que es pot agitar per mitjà d'una maneta que porta associada una lleva. Permet determinar el límit líquid. La mostra que objecte de l'assaig es col·loca a la cullera i, amb l'estri de l'esquerra, se li fa un tall. La mostra preparada així se sotmet a deu cops. Si el tall es tanca al cap d'aquests cops, el percentatge d'humitat es correspon amb el límit líquid. Habitualment, es procedeix per aproximacions.

La fotografia de la dreta mostra la determinació del límit plàstic. Com es pot apreciar, el laborant incrementa o disminueix, segons els casos, el grau d'humitat de la mostra fins que pot realitzar, amb la mà, macarrons de 3 mm de diàmetre sense que es trenquin.

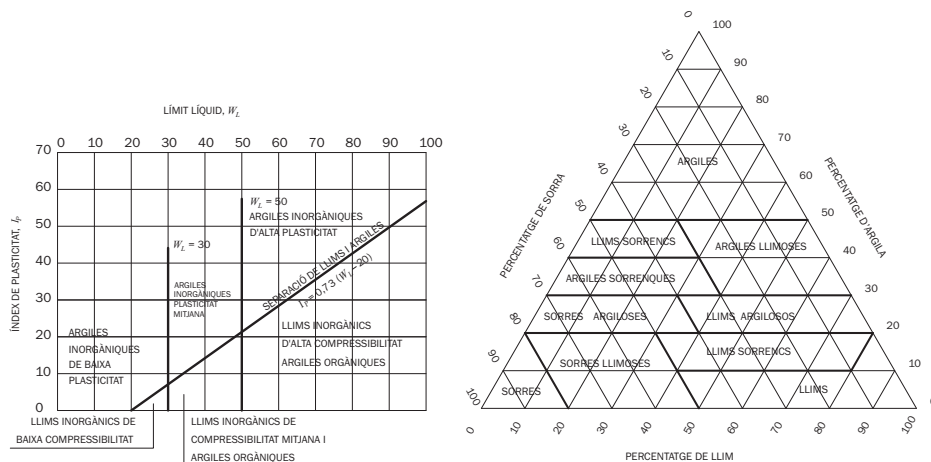


A títol orientatiu, a la taula següent s'indiquen els valors representatius de quatre tipus de sòl.

SÒL	LÍMIT LÍQUID	LÍMIT PLÀSTIC	ÍNDEX DE PLASTICITAT
	WL%	WP %	IP
Sorra	de 10 a 25	cap	cap
Llims	de 20 a 35	de 10 a 30	de 5 a 15
Argiles	de 40 a 150	de 15 a 50	de 20 a 100
Col·loides	>150	>50	>100

El gràfic esquerre següent és el de Casagrande modificat. La recta vertical del 30 % de límit líquid separa els materials de baixa plasticitat dels de plasticitat mitjana. L'espai comprès entre el 30 i el 50 % correspon a materials de plasticitat mitjana i, per sobre del 50 %, es considera que la plasticitat és alta. La recta de l'índex de plasticitat $I_p = 0,73(W_L - 12)$ separa les argiles dels lims.

El gràfic de la dreta és el triangle de Feret. Parteix del fet que els sòls naturals habitualment estan constituïts per tres tipus de materials, sorres argiles i lims, que hi intervenen en percentatges diversos. En funció d'aquests, els materials s'anomenen esmentant, en primer lloc, els materials de percentatge més alt i, en segon lloc, els de percentatge més baix. Així, per exemple, parlem de lims sorrencs o de sorres llimoses.



4.16 Les argiles expansives

A continuació, s'exposen els efectes que produeixen els canvis en la humitat intersticial sobre diversos tipus d'argila.

Determinats tipus d'argiles, amb bona capacitat portant aparent, varien de volum en funció del contingut d'aigua; son les anomenades *argiles expansives*. La presència i la posterior carència d'aigua en el seu si, ocasionada per efectes estacionals o induïts, genera efectes diferencials en el contingut d'humitat que te efectes sobre el comportament del sòl.

Els diferencials es poden produir per causes diverses. A tall d'exemple; la orientació de les façanes, la presència d'arbres propers, o fuites en canonades o en el clavegueram.

La desaparició del aigua intersticial més propera a la superfície, habitualment per evaporació natural, produeix el que s'anomena un col·lapse del sòl. Els contactes entre partícules i l'aigua desapareixen. El sòl experimenta una disminució de volum. Aquesta disminució de volum pot afectar les estructures assentades superficialment.

Els efectes dels cicles d'entumiment i retracció són més palesos en les zones properes a la superfície, al voltant del primer metre de fondària. Tanmateix, s'han detectat argiles en què l'afectació dels cicles arriba fins als 5 m de fondària.

Amb independència dels resultats dels assaigs de laboratori, ofereixen indicis d'expansivitat les argiles que, un cop seques, presenten esquerdes de retracció, i que, en època humida, s'enganxen al calçat i a la maquinària.

Els esforços que generen els cicles d'entumiment i retracció de determinades argiles expansives poden superar els 2 kg/cm^2 , és a dir, 20 Ton/m^2 . En aquestes circumstàncies, és fàcil imaginar els efectes nefastos que poden experimentar edificis lleugers (d'una o dues plantes), fonamentats superficialment (fotografia dreta de la pàgina següent).



Els assentaments provocats, en aquests tipus d'edificis, pel col·lapse del sòl no es produeixen de forma homogènia. La causa cal cercar-la en els percentatges diferencials d'aigua intersticial que es manifesten entre l'interior i l'exterior de l'edifici. Mentre l'interior resta protegit dels canvis tèrmics i de les pluges, l'exterior resta sotmès a pluges i a salts tèrmics importants, que afavoreixen l'evaporació.

La fotografia inferior esquerra mostra l'efecte de la sequera en un sòl expansiu en forma de contraccions, tant en el sentit horitzontal com en el vertical.



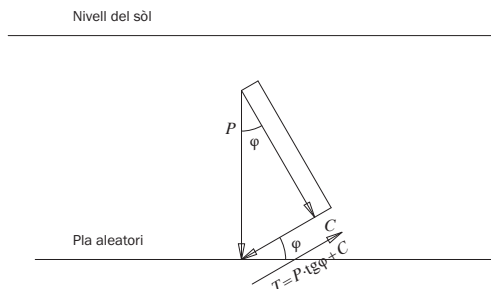
Les mesures per evitar l'efecte de les argiles expansives poden orientar-se en dos sentits:

- Fonamentar per sota de la capa activa del sòl argilós.
- Tractar de reduir les variacions de la humitat intersticial al voltant del edifici, disposant-hi voreres i evitant-hi la presència d'arbrat.

4.17 La resistència dels sòls i el seu trencament. El cercle de Mohr i la recta de Coulomb

El sòl, pel que fa al seu comportament mecànic, és un sistema que, com s'ha indicat, s'equilibra a esforç tallant. Segons la naturalesa del sòl (cohesiu o granular), hi intervé o no el factor corresponent a la cohesió. L'equació fonamental que regeix la determinació de les situacions d'equilibri del sòl a tallant és l'anomenat *criteri de Mohr-Coulomb*.

Al gràfic inferior, se suposa un pla aleatori, situat a una certa fondària en un massís de sòl coherent. El pes que suporta aquest pla s'assimila a un vector P . Aquest vector es descompon en una força normal i una altra de tangencial, en funció de l'angle de fregament intern, φ , d'acord amb la posició de fractura.





La situació d'equilibri estricte s'assoleix quan:

$$T = P \cdot \operatorname{tg} \varphi + C$$

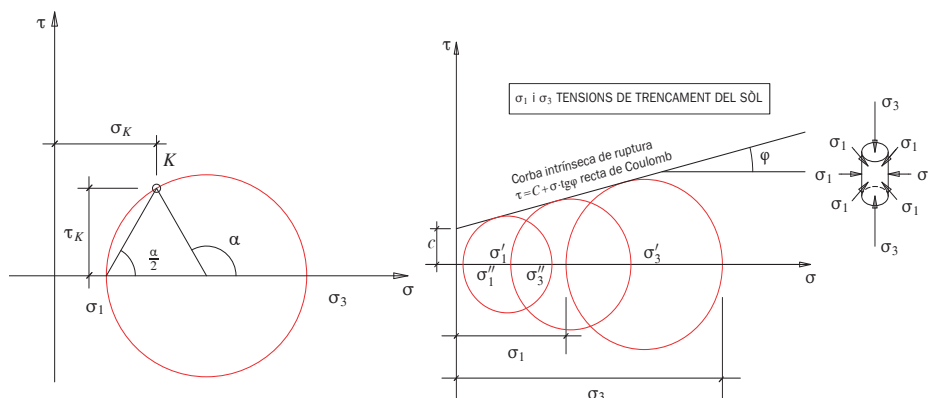
El valor de T per equilibrar la càrrega P no té per què superar el límit de trencament del sòl.

Si T coincideix amb el límit de trencament del sòl, es tractaria d'una situació límit. Superar el valor de T comportaria la ruptura del sòl per esforç de tall. A l'equació C , és el valor de la cohesió del sòl. Té unitats de tensió (kg/cm^2 o Ton/m^2). Tractant-se de grava o de sorres, sòls granulars, el valor de la cohesió és zero.

Als laboratoris de mecànica de sòls, les mostres de sòl són portades a situacions límit, fins a experimentar el trencament, per mitjà d'aparells com la caixa de tall directe o el triaxial, als quals es fa referència més endavant. A partir de les situacions límit dels sòls, els valors d'aplicació al càlcul s'obtenen aplicant-hi habitualment un coeficient de seguretat de 3.

El cercle de Mohr (gràfic inferior esquerre) permet establir, a partir de dues tensions principals de ruptura a compressió, σ_1 i σ_3 , tots els valors de compressió i de tallant que provoquen la ruptura del sòl pel parell de valors indicats. Per tant, el cercle de Mohr estableix una frontera per a aquests valors. Els punts situats al seu interior no provoquen el trencament del sòl. Els punts pertanyents al cercle són casos límit i els punts situats al seu exterior suposen el trencament del sòl.

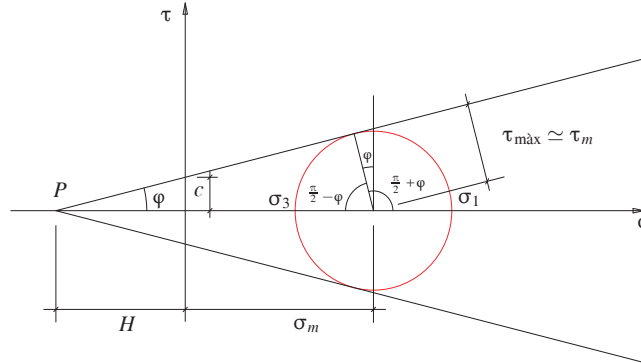
Si es porta el material fins a estats immediats a la ruptura per mitjà de diferents parells de valors, σ_1 i σ_3 (gràfic dret), el conjunt de cercles de Mohr obtinguts assenyalen la frontera entre els esforços de compressió i de tall que trenquen el sòl. La tangent al conjunt de cercles és la recta de Coulomb, a la qual s'ha fet referència. També és coneguda amb el nom de corba intrínseca de ruptura, perquè defineix la frontera per sota de la qual els valors de compressió i de tall (σ , ζ) no produeixen trencament del sòl i per damunt del qual sí que es produeix el trencament del sòl.





4.18 Relacions entre les tensions principals d'un sòl en estat d'equilibri plàstic. Els equilibris de Rankine

A l'apartat anterior, s'ha fet referència als parells de valors de tensions principals, σ_1 i σ_3 , que produeixen el trencament d'un sòl. En aquest apartat, s'indica, sense demostrar-ho, que per a cada parell de valors les relacions σ_3/σ_1 i σ_1/σ_3 són valors constants que depenen de l'angle de fregament intern, φ , característic de cada tipus de sòl.



El gràfic superior conté l'esquema geomètric per a l'obtenció dels coeficients d'empenta activa i d'empenta passiva. A partir d'ell i del seu desenvolupament trigonomètric en funció de l'angle meitat, s'obtenen les relacions següents:

$$\sigma_1 = \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) \cdot \sigma_3 + 2 \cdot C \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right)$$

Anàlogament, per a σ_3 , es té:

$$\sigma_3 = \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \cdot \sigma_1 - 2 \cdot C \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)$$

En el cas dels sòls granulars, grava o sorres, com que la seva cohesió és $C = 0 \text{ kg/cm}^2$, el segon terme desapareix. Suprimint el terme de cohesió, es poden establir relacions recíproques entre les tensions principals de trencament, σ_1 i σ_3 , en funció de l'angle de fregament intern, φ . Aquestes tenen les expressions següents:

$$\frac{\sigma_3}{\sigma_1} = \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (\text{coeficient d'empenta activa})$$

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) \quad (\text{coeficient d'empenta passiva})$$

Els coeficients d'empenta activa i passiva, en tractar-se de relacions entre tensions, són adimensionals. Ambdós valors, especialment el primer, són aplicables al disseny de sistemes de contenció. Es recorda, un cop més, que σ_1 i σ_3 són valors límit de ruptura.



A tall d'exemple, per a un angle de fregament intern, φ , de 30° , el coeficient d'empenta activa val 0,333, mentre que el coeficient d'empenta passiva val 3. És a dir, la relació entre els esforços necessaris per subjectar un pla probable de fractura i els necessaris per trencar el sòl en sentit contrari és de l'ordre d'1 a 10.

El coeficient d'empenta activa estableix la relació entre l'esforç vertical que actua sobre el sòl d'un massís i l'esforç horitzontal resultant que actua quan s'ha produït el trencament.

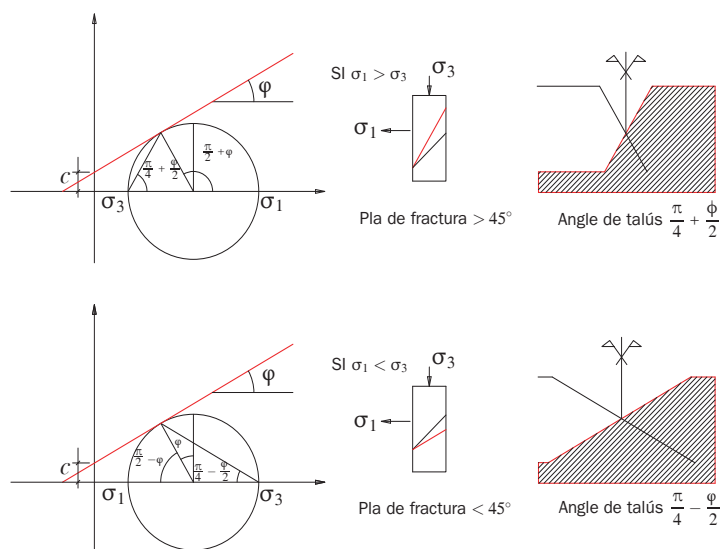
Per efecte del coeficient d'empenta activa (cal recordar que respon a una situació de ruptura), es produeix un desplaçament del massís cap a l'exterior. En aquesta situació de trencament, entren en acció forces de fricció (de tall) en la superfície de fractura.

Les forces de tall redueixen notablement l'esforç necessari per mantenir estable el massís. Per al càlcul de les contencions, s'utilitza el coeficient d'empenta activa, excepte en situacions molt especials, perquè dóna valors ajustats a la realitat molt inferiors als de l'empenta passiva.

El coeficient d'empenta passiva determina la relació entre l'esforç vertical que actua sobre el sòl d'un massís i l'esforç horitzontal necessari per desplaçar-lo, hipotèticament, cap a l'interior, just a l'instant anterior a la ruptura del sòl.

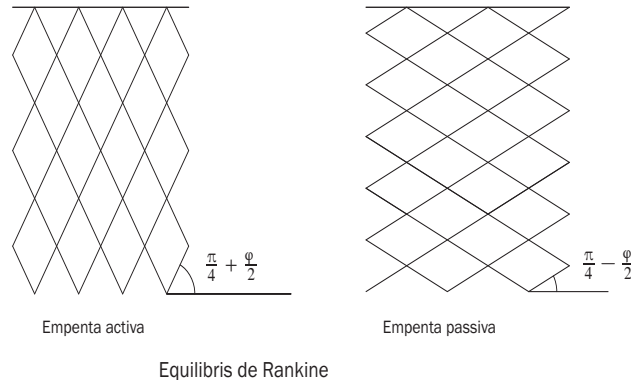
Si es produís la ruptura del sòl, entrarien en acció (com en el cas anterior) les forces de tall i el seu valor disminuiria; per aquest motiu, no s'esgota la mobilització de passiu, ja que provocaria un col·lapse en el sòl. La utilització parcial de l'empenta passiva, fins al 60 % de la seva capacitat, és un recurs de càlcul per contrarestar l'empenta en els murs pantalla autoestables i determinar la fondària de les claves en altres tipus de murs pantalla.

Els gràfics de la pàgina següent mostren, sobre la base dels cercles de Mohr resultants dels valors σ_1 i σ_3 , que el pla de fractura és superior a 45° , si $\sigma_1 > \sigma_3$, i inferior, en cas contrari. Només en el cas hipotètic d'un sòl purament coherent, representat per una recta de Coulomb horitzontal, ambdós plans de fractura es produirien a 45° .



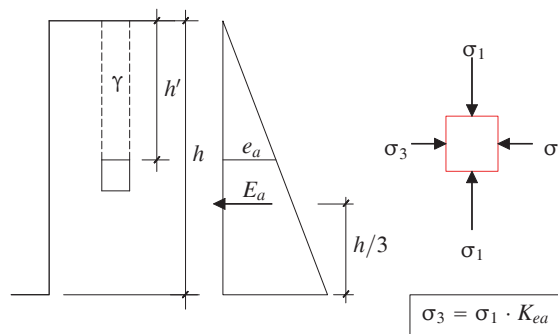


Prenent en consideració els angles corresponents als plans probables de fractura desenvolupats per Rankine, es poden establir dins els massissos, en funció de la simetria aplicable al procés, unes xarxes de plans de fractura corresponents a les empentes actives i passives, amb angles respectius coneguts $(\pi/4 + \varphi/2)$ i $(\pi/4 - \varphi/2)$.



4.19 Aplicació dels equilibris de Rankine a la determinació d'empentes del sòl

L'aplicació dels equilibris de Rankine a la determinació de les empentes del sòl és immediata, ja que, a manca d'altres sobrecàrregues i situacions circumstancials, cada estrat de sòl, situat a una fondària h , suporta una càrrega unitària equivalent al producte de la densitat γ per h i pel coeficient d'empenta activa K_{ea} , com es detalla al gràfic inferior.



Si, a l'expressió, corresponent a l'empenta activa, se substitueix σ_3 per l'empenta unitària, ea , i σ_1 pel producte de la densitat per l'altura, s'obté el valor de l'empenta activa unitària a una fondària determinada, h' , segons l'equació:

$$ea = tg^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \cdot \gamma \cdot h' - 2 \cdot C \cdot tg\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)$$



Per establir el valor de l'empenta total a una fondària h , tan sols s'ha de determinar l'àrea del triangle resultant. L'empenta activa total, E_a , estarà aplicada a una altura de $h/3$. El seu valor s'obindrà de l'expressió:

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) - 2 \cdot C \cdot h \cdot \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)$$

En els sòls sense cohesió, com que $C = 0$, el segon terme desapareix. En general, el terme de la cohesió no s'acostuma a considerar, tant pel seu valor, relativament reduït, com pel fet que s'obtenen resultats del costat de la seguretat.



→ 5



L'obtenció de paràmetres geotècnics

5.1 Introducció

Aquest capítol recull informació sobre els aparells de camp i de laboratori necessaris per caracteritzar el sòl com a material de construcció a base d'obtenir-ne els paràmetres geotècnics.

Els paràmetres geotècnics són diversos en funció del tipus de coneixement que es vol obtenir del sòl, segons se es tracta de projectar-hi fonaments, contencions o fers, o preveure-hi assentaments. En descriure els aparells necessaris per obtenir aquests paràmetres, també s'esmenten les seves unitats com a elements indispensables per al càlcul.

Els aparells de laboratori als quals es fa referència són:

- Caixa de tall directe
- Triaxial
- Compressió simple
- Edòmetre Permeàmetre

Els aparells i els assaigs de camp vinculats a ells als quals es fa referència en aquest apartat són:

- Cala o pou
- Sondeig
- Assaig normal de penetració (SPT)
- Penetròmetre estàtic
- Escissòmetre o molinet
- Penetròmetre dinàmic
- Pressiòmetre
- Assaig de placa



- Es pretén fer només una descripció superficial dels aparells de laboratori i de camp, dels principis físics en que es fonamenta la seva acció i dels paràmetres geotècnics que s'obtenen dels diferents assaigs. Es tracta, doncs, d'una presentació orientada exclusivament a donar resposta a les necessitats de coneixement primari que el tècnic de construcció té com a usuari del servei de geotècnia.

Habitualment, els assaigs en els aparells indicats es realitzen amb petites mostres de sòl, de l'ordre dels centímetres. Aquestes mostres solen estar alterades, ja que corresponen a fraccions representatives del sòl objecte d'estudi, separades normalment per dessecació i garbellament. Les mostres s'adapten a les necessitats dels aparells, atès que, per determinar els paràmetres geotècnics, cal treballar amb la secció fina dels sòls.

5.2. Els aparells de laboratori

Els aparells geotècnics de laboratori permeten fer assaigs sobre mostres representatives de sòl per tal de determinar uns paràmetres numèrics amb els quals es pot anticipar la resposta esperable d'un sòl en ser sotmès a un estat determinat de càrregues. Els aparells geotècnics de laboratori pretenen caracteritzar el sòl per tal de convertir-lo en un material més de construcció, amb un comportament previsible i controlable dins uns determinats paràmetres de referència.

La caixa de tall directe

La caixa de tall directe, també anomenada caixa de *Casagrande*, és un aparell que, com el seu nom indica, sotmet les mostres de sòl a esforços de tall rectilini fins al seu trencament, segons un pla determinat.

Consta de dues mitges caixes, que es poden desplaçar una respecte de l'altra, com es veurà, amb el fons format per pedres poroses estriades. La seva funció és doble: afavorir el drenatge de les mostres i garantir la bona adherència a l'aparell.

A l'interior de les mitges caixes, es col·loca la mostra que es vol sotmetre a assaig. Aquesta fa 10 cm de diàmetre per 3 cm d'altura.





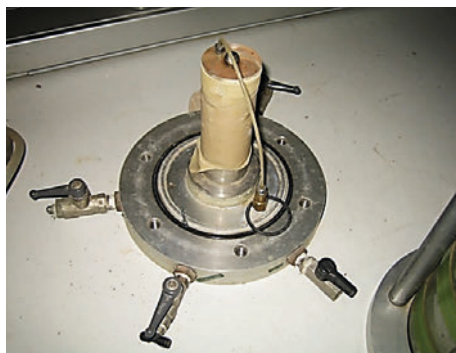
La fotografia superior esquerra mostra un aparell de caixa de tall directe. La pressió sobre la mostra s'exerceix carregant el plat situat a la part inferior dreta i la tracció l'exerceix un petit motor elèctric connectat a un dinamòmetre. A la dreta, es pot apreciar el detall de les dues semicaixes i els discs porosos que configuren la cèl·lula de tall.

Amb la caixa de tall directe, s'obté l'angle de fregament intern, ϕ , expressat en graus sexagesimals, i la cohesió, C , en unitats de pressió (kg/cm^2 o N/mm^2). Ambdós paràmetres configuren la recta de Coulomb, també anomenada *corba intrínseca de ruptura*.

El triaxial

El triaxial és un dels aparells més sofisticats i precisos dels laboratoris de mecànica de sòls. Permet estudiar el comportament del sòl sota tensions principals, de manera que els seus resultats es poden representar per mitjà de cercles de Mohr en un sistema de coordenades tensió-tallant similar al que s'emptra per a l'assaig de tall directe, com s'ha indicat al capítol anterior.

Per aconseguir tensions principals, σ_1 i σ_3 , ortogonals entre si, l'aparell consta d'un pistó, que actua directament sobre la mostra, a la qual es garanteix el drenatge per mitjà d'unes pedres poroses (fotografia esquerra següent).



La mostra és cilíndrica i té unes dimensions de 3×6 cm. Està protegida per una membrana elàstica, ja que les tensions perpendiculars a les que exerceix el pistó es generen introduint la mostra en una cambra amb aigua, sotmesa a pressió (fotografia superior dreta).

La compressió simple

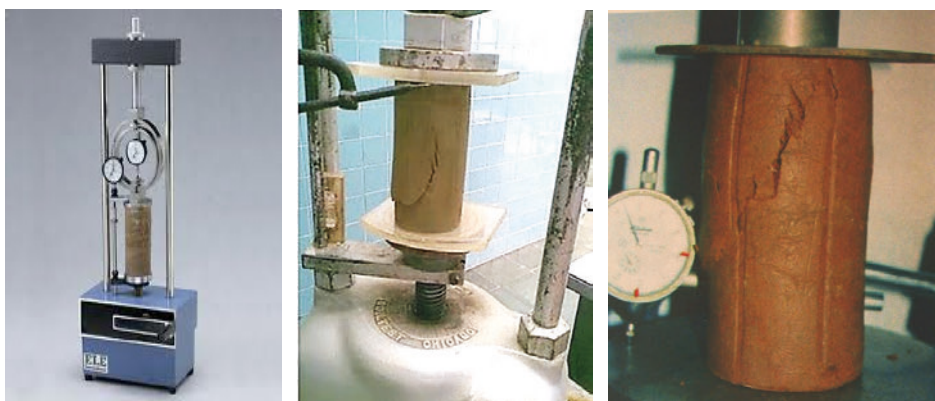
L'assaig de compressió simple permet determinar la tensió admissible d'un sòl, σ_a , per mitjà de la compressió, d'una mostra fins que es comença a trencar, en una premsa apropiada.

Aquest tipus d'assaig només és aplicable a sòls coherents, atès que, per realitzar-lo, es necessita una mostra estable d'unes dimensions aproximades de 3×6 cm.



El valor de la tensió de trencament obtinguda és directament l'admissible, σ_a (aplicable a càlculs de tensió sabata-sòl). Això és així perquè la mostra no està constreta, és a dir, no està envoltada de materials que en limitin les deformacions, com succeeix en les situacions reals.

Les fotografies inferiors mostren una premsa amb mesuradors de tensió i de deformació (esquerra) i mostres trencades amb els plans de fractura definits (central i dreta).



Quan l'assaig de la capacitat portant d'un sòl es realitza en situació de constrenyiment, com en l'assaig de placa, la tensió de trencament obtinguda es transforma en l'admissible, dividint-la per tres.

L'edòmetre

L'edòmetre és un aparell en què s'assagen, sota pressions progressives de caràcter logarítmic, les deformacions d'una mostra de sòl d'altura h . El propòsit és obtenir el mòdul edomètric E' , que s'expressa en unitats de pressió (kg/cm^2 o N/mm^2) per a un graó de càrrega determinat.

El mòdul edomètric es defineix com el quocient entre l'increment unitari de la pressió i l'increment unitari de la deformació, segons l'expressió:

$$E' = \frac{\Delta \sigma}{\frac{\Delta h}{h}}$$

L'edòmetre reproduïx, a petita escala, els fenòmens derivats de les deformacions dels sòls sota càrregues i els efectes de la presència d'aigua en els processos de deformació.

Els seus resultats són molt útils, no tan sols pel que fa a l'estimació dels valors numèrics dels assentaments, sinó a l'hora d'establir estratègies en el dis-



seny dels sistemes de fonamentació per tal d'evitar els efectes derivats de l'expansivitat del sòl.

Habitualment, es treballa amb mostres saturades per tal d'eliminar la influència de les forces capil·lars. Es garanteix el drenatge de l'aigua de les mostres per mitjà de pedres poroses situades a les bases dels suports de les mostres. Es realitzen, en paral·lel, els assaigs de tres mostres, per tal de verificar millor els resultats.

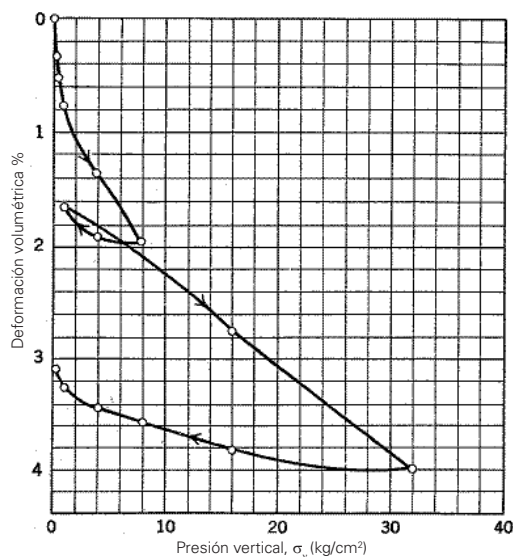
La mesura habitual de les mostres és de 7 cm de diàmetre i un gruix d'entre 1,2 i 2,4 cm. Les deformacions de les mostres es verifiquen amb comparadors que permeten apreciar fins a centèsimes de mil·límetre.

L'assaig edomètric de les argiles és lent, com a conseqüència de la seva permeabilitat baixa. Es requereix més d'una setmana per al seu desenvolupament. Les càrregues se solen duplicar cada 24 hores. Posteriorment, es procedeix a la descàrrega.

La posada en càrrega dels edòmetres es realitza dipositant uns discs d'acer en el plat de càrrega. Aquests disposen d'una ranura que en facilita la col·locació. El procediment, a més de simple, permet visualitzar en tot moment l'estat de càrregues a què està sotmesa la bateria de mostres.

La fotografia següent de l'esquerra mostra una sèrie de tres d'edòmetres. Els edòmetres s'utilitzen en bateria per tal de comparar els resultats obtinguts en les diferents mostres, garantir-ne l'homogeneïtat i, si és el cas, donar validesa als resultats sense necessitat de repetir l'assaig.

El gràfic inferior dret mostra el procés de càrrega i descàrrega d'un sòl. S'hi pot apreciar el seu comportament plàstic ja que, quan la pressió cessa, s'observa una deformació volumètrica permanent.





Els assaigs amb l'edòmetre. A més de determinar el mòdul edomètric, amb els edòmetres es realitzen altres assaigs de gran interès per preveure el comportament del sòl i, a partir d'ells establir les mesures pertinents en el disseny de fonaments i contencions.

A continuació, es detallen els assaigs més habituals que es realitzen amb l'edòmetre i se n'interpreten els resultats. Els assaigs són:

- Inflament lliure
- Pressió d'inflament
- Inundació sota càrrega

- **L'inflament lliure.** L'assaig d'inflament lliure determina el percentatge d'augment de volum que rep una proveta d'una mostra inalterada del sòl en ser inundada a l'edòmetre i sotmesa a una petita tensió normal.

Per mitjà d'un comparador capaç de mesurar centèsimes de mil·límetre, es determina l'increment d'altura de la proveta. La prova requereix un temps fins a verificar l'estabilització dimensional de la proveta en condicions de saturació.

La interpretació dels resultats de l'assaig d'inflament lliure és aquesta:

- El risc d'expansivitat és baix si el percentatge d'increment de l'altura de la proveta és inferior a l'1 %.
- El risc d'expansivitat és mitjà si el percentatge d'increment de l'altura de la proveta se situa entre l'1 i el 5 %.
- El risc d'expansivitat és alt quan s'obtenen valors d'entre el 5 i el 10 %.
- El risc d'expansivitat és molt alt per a percentatges d'increment de l'altura de la proveta superiors al 10 %.

- **La pressió d'inflament.** L'assaig de pressió d'inflament consisteix a determinar la pressió que cal aplicar sobre una mostra inalterada per evitar que aquesta augmenti de volum. La pressió d'inflament és aquella sota la qual un sòl expansiu ni s'infla ni es col·lapsa.

El procés operatiu de l'assaig és el següent: es col·loca una mostra inalterada a l'edòmetre i s'inunda per provocar-ne l'expansivitat. Es controla el comparador per mantenir-lo estable i evitar que la mostra es deformi. Aquesta operació es realitza fent un increment adequat de càrregues sobre el plat de l'edòmetre. Com més alta sigui la pressió d'inflament, més gran és la possibilitat del fenomen d'expansivitat i el seu efecte.

La interpretació dels resultats de l'assaig d'inflament lliure és aquesta:

- Els valors inferiors a $0,3 \text{ kg/cm}^2$ es poden considerar baixos.
- Els valors compresos entre $0,3$ i $1,2 \text{ kg/cm}^2$ són intermedis.
- Els valors que se situen entre $1,2$ i $2,5 \text{ kg/m}^2$ són alts.
- Els valors que superen els $2,5 \text{ kg/cm}^2$ es consideren molt alts.



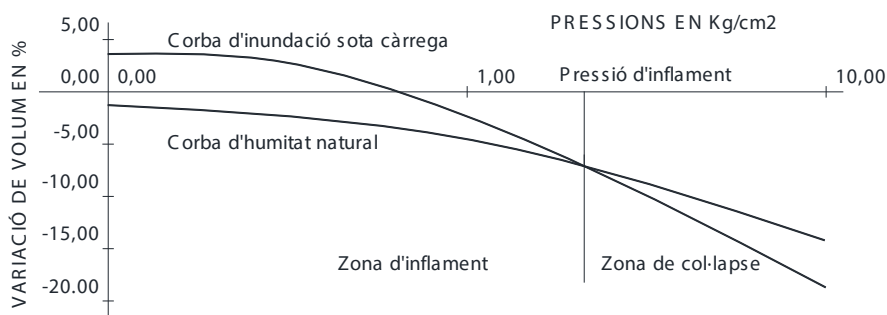
Observeu que, a diferència de l'assaig d'inflament lliure, que determina percentatges sobre l'increment de volum de la mostra, el de pressió d'inflament estableix tensions.

Si el sòl està sotmès a una pressió superior a la d'inflament, pot col·lapsar. Si la pressió que rep un sòl és inferior a la d'inflament, hi ha risc d'expansivitat.

- **La inundació sota càrrega.** Per fer aquest assaig, són necessàries dues mostres inalterades de sòl.

Amb una d'elles, es realitza un assaig d'inflament lliure. S'estableix, doncs, el percentatge de l'augment de volum de la mostra.

La segona mostra se sotmet, per mitjà de graons de càrrega, a un assaig edomètric normal fins que la seva deformació resta estabilitzada (corba d'humitat natural del gràfic inferior). En aquesta situació, es mesura la mostra i s'inunda (corba d'inundació sota càrrega del gràfic inferior). Durant el procés d'inundació, se'n mesura l'expansió percentual fins que es produeix una nova situació d'estabilització.



Les dues corbes convergeixen en un punt, que es correspon amb la pressió d'inflament. A la branca de l'esquerra, la corba d'inundació sota càrrega supera la corba d'humitat natural. Aquest fet vol dir que existeix risc d'expansivitat en cas que el sòl modifiqui a l'alça la seva humitat natural.

Per contra, a la branca dreta, la corba d'humitat natural se situa per damunt de la corba d'inundació sota càrrega. En aquestes circumstàncies, un increment brusca de la humitat en el sòl suposaria risc de col·lapse.

Permeàmetre

El permeàmetre és un aparell de laboratori que permet mesurar les velocitats de pas d'un fluid a través d'un material determinat. En el cas de la mecànica dels sòls, el fluid és l'aigua i el material, un tipus determinat de sòl del qual es vol conèixer el coeficient de permeabilitat, k , expressat en cm/s. Es treballa amb mostres de sòl saturades.

Els permeàmetres són, essencialment, un tub de longitud i secció coneguda en què es col·loca el material que es vol assajar i es mesura el temps necessari perquè l'aigua travessi la mostra (fotografies de la pàgina següent).



Atesa la forquilla extensa de mesures dels grans que poden conformar un sòl (des de desenes de centímetres fins a dècimes de micró), resulta evident l'ampli ventall dimensional en què es mou el coeficient de permeabilitat. La taula següent, ordenada per tipus de sòls, resulta prou indicativa.

– Graves	$10^{-1} > k < 10^2 \text{ cm/s}$
– Sorres	$10^{-3} > k < 10^{-1} \text{ cm/s}$
– Llims i sorres argiloses	$10^{-7} > k < 10^{-3} \text{ cm/s}$
– Argiles	$10^{-11} > k < 10^{-7} \text{ cm/s}$
– Roques aparentment sense fissures	$10^{-10} > k < 10^{-8} \text{ cm/s}$

La gamma de velocitats de la taula oscil·la entre 1 m/s en les graves fins a 30 cm/any en les argiles.

5.3 Aparells i assaigs de camp

Els aparells de camp permeten obtenir mostres representatives del sòl que es vol analitzar a diferents fondàries. Per mitjà d'un programa de prospeccions adequat, és possible obtenir seccions estratigràfiques. El seu coneixement, més el dels paràmetres geotècnics associats a cada estrat, són determinats per adoptar decisions de disseny per a fonaments i contencions.

Les mostres obtingudes durant les prospeccions poden ser analitzades posteriorment al laboratori, però també és possible extreure dades geotècniques directament dels aparells de camp.

Les proves de camp tenen l'avantatge de la immediatesa. A continuació, es detallen les diferents actuacions i els aparells de camp. El seu coneixement, junt amb el de les característiques de l'edifici que es vol implantar, són determinants a l'hora de dissenyar una campanya de prospeccions econòmica i eficient.



La cala o pou

Per cala o pou s'entén avui, en què els mitjans manuals estan descartats, una perforació realitzada habitualment amb una retroexcavadora. Les possibilitats d'aquest tipus de màquina limiten la perforació a uns 5 m de fondària.

És evident que les cales o els pous no són un aparell. S'inclouen com a tals perquè permeten constatar, en funció de les dificultats de la màquina en realitzar l'excavació, la compacitat dels primers estrats del sòl. També és possible fer inspeccions organolèptiques dels materials que hi van apareixent, observar si les parets de l'excavació són estables, o no, i obtenir mostres per al seu estudi posterior al laboratori.

Després d'estintolar les parets o formar talussos, per tal de garantir les mesures adequades de seguretat, es poden portar a terme diversos assaigs de camp, entre ells el de placa, al qual es fa referència en aquest capítol; l'escissòmetre, que permet obtenir una aproximació a la cohesió, C , i el penetròmetre de butxaca. Aquest petit aparell s'aplica pressionant-lo manualment sobre el sòl i, per mitjà d'un ressort, assenyalava la pressió de trencament del sòl. Repetint diverses vegades l'assaig sobre una zona determinada, permet aproximar ràpidament valors de la tensió admissible, σ_a .

Les cales o pous solen ser un recurs que les direccions facultatives utilitzen en el curs dels treballs per tal d'assegurar-se de la correspondència de les dades contingudes a l'estudi geotècnic respecte de la realitat i adoptar, si escau, les mesures de correcció necessàries.



La fotografia superior esquerra mostra una cala, amb el cartell que indica el número de cala. La fotografia de la dreta il·lustra penetròmetres i escissòmetres de mà.

El sondeig

Els sondeigs són la forma de prospecció més rendible, des del punt de vista tècnic i econòmic, d'acord amb les informacions que se'n poden obtenir i el seu cost moderat en tractar-se de perforacions de diàmetre petit.



El sondeig es basa en una perforació de petit diàmetre, entre 60 i 150 mm. A aquest efecte, s'utilitza un equip especial, format per un carro perforador encarregat d'accionar barrines helicoidals o seccions de tubs connectats a una broca amb punta de vídia, amb capacitat per travessar estrats rocosos de poca potència.

La fondària que es pot assolir amb un sondeig, d'uns 50 m, supera les necessitats habituals d'un estudi geotècnic. En les obres d'arquitectura, no és freqüent que una construcció de més cinc soterranis sota rasant, és a dir, que arribi a la cota -15,00 m. Si s'hi afegeix la necessitat de conèixer els estrats situats sota el pla de fonamentació, en la majoria de les situacions (excloent-ne els casos excepcionals) serà suficient prospectar entre les cotes -25,00 i -30,00 m.

Un dels avantatges dels sondeigs és la possibilitat d'efectuar a diferents fondàries, després de retirar els tubs de perforació, assaigs amb aparells específics, com ara l'SPT, el pressiòmetre o l'escissòmetre. Per aquesta raó, aquests tres aparells s'anomenen *d'informació discontinua*.

Habitualment, la perforació es realitza preferentment amb tubs, i no amb barrines helicoidals, perquè aquells permeten recuperar de l'interior una secció estratigràfica del sòl.

Els materials extrets del sondeig es col·loquen en caixes preparades a l'efecte per facilitar-ne la identificació estratigràfica i per fer assaigs. Les caixes fan entre 50 cm i 1 m, i tenen cinc compartiments.

Sobre les mostres recuperades dels tubs de perforació, se sol aplicar el penetròmetre de butxaca, en el mateix moment de l'extracció, per preservar al màxim la inalterabilitat de les mostres. Els resultats obtinguts amb aquest aparell són de caràcter orientatiu i serveixen de referència respecte als que es poden esperar dels assaigs de laboratori.



La fotografia superior esquerra correspon a un carro perforador de gran format i la central, a una perforadora petita transportable manualment, que permet fer sondejos a l'interior dels edificis. A la dreta, es reproduïx una caixa de mostres, ordenades segons la seqüència d'extracció, de manera que és possible determinar la secció estratigràfica del sòl objecte de l'assaig.



L'assaig normal de penetració

L'assaig normal de penetració (SPT) permet determinar la densitat relativa o la consistència del sòl, segons si es tracta de sorres o d'argiles.

L'SPT, sigla amb la qual es coneix en l'argot de la geotècnia, correspon a l'expressió anglesa "*standard penetration test*". Aquest assaig va ser desenvolupat per Terzaghi i és un dels més emprats i del qual es té més experiència. Inicialment, s'aplicava a l'estudi de les sorres. Posteriorment, el seu ús es va estendre, de forma eficaç, a l'estudi dels llims i de les argiles. El resultats obtinguts solen ser fiables.

L'assaig SPT consisteix a clavar, al llarg de 30 cm, una cullera llevamostres normalitzada, formada per un cilindre de 35 mm de diàmetre interior i 51 mm de diàmetre exterior. La longitud total de la cullera és de 800 mm. L'extrem d'atac del tub està afuat per tal de facilitar la seva penetració en el sòl. Sol disposar de mecanismes de retenció (ressorts anulars) que permeten recuperar la mostra (fotografia inferior esquerra).

La fotografia de la dreta mostra un aparell d'SPT en acció: la massa pesa 63,5 kg i cau des d'una altura de 76 cm.



Les mostres obtingudes per mitjà d'un SPT, especialment les d'argila, no es poden considerar totalment inalterades perquè, com que la cullera té un diàmetre relativament petit, el material retingut rep una enèrgica compactació en penetrar al seu interior.

La interpretació dels resultats es fa segons el nombre de cops (N) necessaris per fer avançar la cullera 30 cm en el sòl. La primera taula que s'exposa a continuació correspon a sorres.

Les dues primeres columnes es deuen a Terzaghi i Peck, i relacionen la densitat relativa de les sorres sobre la base de N; la tercera columna és una aportació de Meyerhoff en què es dona l'angle de fregament intern, ϕ . S'ha afegit una fila corresponent al rebuig, com a resultat possible en fer la prospecció. En aquest cas, es tractaria del contacte directe del mostrejador amb algun bloc de roca barrejada amb el sòl, o de materials propers a les característiques de les roques.



N	Densitat relativa	ϕ (sorres)
de 0 a 4	Molt tova	$<30^\circ$
de 4 a 10	Tova	$30-35^\circ$
de 10 a 30	Compacta	$35-40^\circ$
de 30 a 50	Densa	$40-45^\circ$
>50	Molt densa	$>45^\circ$
Si no es pot clavar	Rebuig	

Per al cas de les argiles, Terzaghi i Peck van confeccionar una altra taula que relaciona el nombre de cops (N) amb la consistència, i aquesta amb la resistència a la compressió simple, assimilable a la tensió màxima admissible (σ_a) sabata-sòl. Com en el cas anterior, s'hi ha afegit la columna corresponent al rebuig.

La taula resultant per a les argiles és la següent:

N	Consistència	σ_a (kg/cm ²)
2	Molt tova	0,25
de 2 a 4	Tova	0,25-0,50
de 4 a 8	Mitjana	0,50-1,00
de 8 a 15	Rígida	1,00-2,00
de 15 a 30	Molt rígida	2,00-4,00
>30	Dura	4,00-8,00
Si no es pot clavar	Rebuig	

De manera aproximada, en els sòls intermedis amb presència de sorres i argiles, es pot fer una aproximació a la tensió màxima admissible dividint per 10 el nombre de cops (N) i donant expressant el resultat en unitats de pressió (kg/cm²).

En alguns estudis geotècnics, els resultats de l'SPT es donen per mitjà de la suma de tres números. Cadascun d'ells indica el nombre de cops necessari per fer avançar la cullera 10 cm. Aquesta forma d'expressar els resultats ajuda a indicar l'homogeneïtat del sòl a la zona d'assaig.

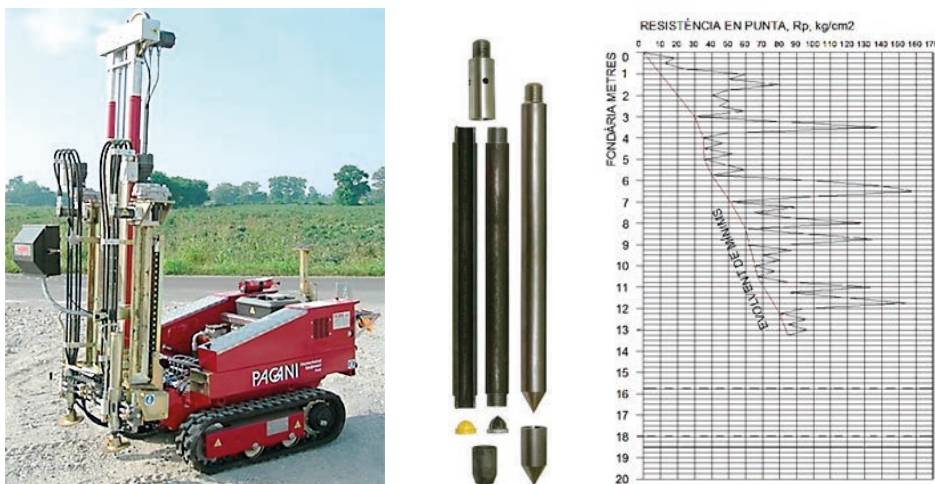


També serveix per descartar resultats dispersos com a fruit de la presència, per exemple, d'algun còdol dispers. Així, per exemple, $6 + 7 + 5 = 18$ cops, en el cas de les sorres, indicaria un sòl compacte i força homogeni al llarg dels 30 cm assajats, amb un angle de fregament intern proper als 37° .

El penetròmetre estàtic

El penetròmetre estàtic és conegut també amb el nom de penetròmetre holandès, perquè és en aquest país, amb profusió de sòls sorrenços, on es va desenvolupar aquest aparell.

Els penetròmetres estàtics són aparells que permeten introduir en el sòl, per mitjà de la reacció del propi terreny o del vehicle de transport, un barnillatge a velocitat lenta i constant, d'entre 10 i 60 cm/min. Aquest barnillatge disposa d'una punta de penetració normalitzada (fotografia inferior esquerra).



La punta de penetració és cònica, amb un angle al vèrtex de 60° i un diàmetre a la base del con de 36 mm. Per tant, la superfície de contacte és de 10 cm^2 , valor que simplifica els càlculs (fotografia central).

El gràfic superior esquerre mostra la representació dels resultats obtinguts en un assaig de penetració. La seva interpretació s'ha de realitzar per mitjà d'una envoltant de mínims, ja que els pics són deguts al contacte de la punta amb irregularitats del sòl que no ofereixen valors representatius del seu comportament mecànic.

Atesa la dificultat de travessar elements de discontinuïtat en el sòl, com és el cas dels grans dispersos de les graves, els penetròmetres estàtics solen estar dotats amb un sistema de rotació.

La fondària de prospecció és limitada, al voltant dels 20 m, per les possibilitats del treball a compressió del barnillatge. Aquest pot estar protegit per una camisa



metàl·lica, si les condicions del sòl ho fan necessari. Seria el cas dels sòls inestables o amb presència d'aigua freàtica.

El valor representatiu de l'assaig amb un penetròmetre estàtic és la resistència en punta, R_p , expressada en kg/cm^2 . Aquest valor és determinat de forma pràcticament contínua, com a mínim cada 25 cm, a mesura que es produeix l'avenç de la punta en el sòl.

El penetròmetre estàtic és, doncs, un aparell d'informació contínua sobre la resistència del sòl que s'ha de penetrar. En canvi, no ofereix informació sobre el tipus de sòl que travessa. Per superar aquest inconvenient, en determinades fondàries, es pot substituir la punta per un petit mostrejador.

Això és més recomanable que recórrer al mostrejador i combinar, en les campanyes de prospecció, els assaigs de penetració amb sondeigs per tal d'obtenir una informació completa del comportament estimat del sòl.

El penetròmetre estàtic, gràcies a unes taules confeccionades per Meyerhoff, permet obtenir, en sòls granulars, directament l'angle de fregament intern, ϕ , i la densitat, γ . A títol indicatiu, se'n reproduïxen els valors més significatius, tant per a sorres seques com per a sorres saturades.

SORRES SEQUES			SORRES SATURADES		
$R_p \text{ kg/cm}^2$	ϕ°	$\gamma \text{ Ton/m}^3$	$R_p \text{ kg/cm}^2$	ϕ°	$\gamma \text{ Ton/m}^3$
16	29° 00'	1,35	16	27° 00'	1,85
26	31° 30'	1,42	26	29° 30'	1,90
38	34° 30'	1,50	38	32° 30'	1,94
88	38° 00'	1,59	88	36° 00'	2,00
160	42° 30'	1,70	160	40° 30'	2,06
248	48° 00'	1,80	248	46° 00'	2,14

L'escissòmetre

L'escissòmetre és un aparell que permet mesurar la cohesió aparent, C_u , de les argiles i els llims.

També és conegut amb els noms de *vane test* i *molinet*. Està format per unes aletes ortogonals entre si, que poden fer 5, 7,5 o 10 cm d'amplada total.

Les pales tenen el doble d'altura que els diàmetres respectius. La mesura de l'estri es tria en proporció inversa a la resistència del sòl objecte de l'assaig.

L'aparell es col·loca al fons del pou o del sondeig. La part superior de les pales ha de quedar enfonsada uns 45 cm respecte a la superfície. És important seguir un protocol estricte durant el desenvolupament de l'assaig, perquè es poden obtenir resultats molt diferents segons la velocitat a què es faci i la fondària respecte a la superfície.



La velocitat que s'adopta generalment és de 0,1°/s, que equival a un gir complet per hora. L'aparell mesura el moment de torsió necessari per trencar el sòl. Es consideren les hipòtesis següents:

El sòl es trenca segons un cilindre del diàmetre de les pales. Els esforços es distribueixen uniformement sobre tota la superfície de les pales.

L'expressió de la cohesió aparent, C_u , és:

$$C_u = \frac{3 \cdot T}{28 \cdot \pi \cdot r^3}$$

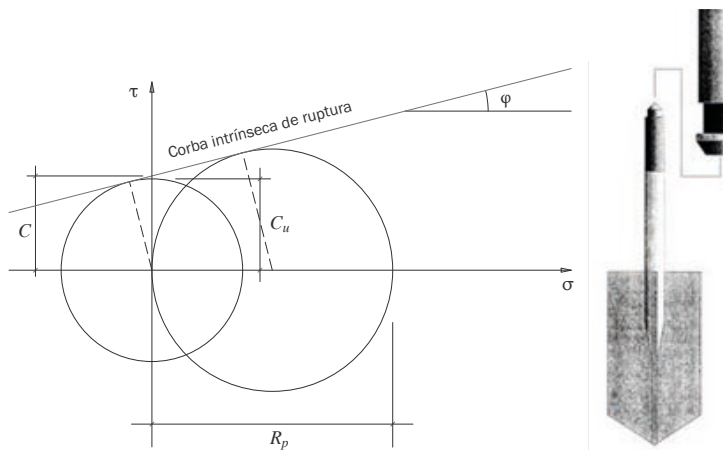
on:

- T = moment de torsió expressat en cm/kg (obtingut per lectura directa del dinamòmetre de l'aparell)
- r = radi del molinet, en cm
- C_u = cohesió aparent del sòl, en kg/cm² (sense drenatge)

Les característiques físiques i mecàniques de l'assaig limiten la seva aplicació a argiles i llims relativament tous i sense inclusions de fraccions gruixudes. Aquests no tan sols poden alterar el resultat de l'assaig, sinó que senzillament el poden fer inviable.

Observeu que l'escissòmetre ofereix el valor de la cohesió aparent, C_u , en comptes del de la cohesió, C, ja que la velocitat a què es fa l'assaig impedeix drenar l'aigua intersticial. A la figura inferior, es pot apreciar l'expressió geomètrica dels dos valors. S'hi mostra l'obtenció de la recta de Coulomb o corba intrínseca de ruptura per mitjà dels resultats d'un escissòmetre i d'un assaig de penetració que ofereix el valor R_p .

El valor de la cohesió, C, és tangent a la corba intrínseca de ruptura, mentre que la cohesió aparent, C_u , és el valor obtingut de l'assaig amb l'escissòmetre, amb el qual es dibuixa el cercle de Mohr corresponent.





L'assaig de paleta és un híbrid entre el penetròmetre estàtic i l'escissòmetre (fotografia dreta de la pàgina anterior). En comptes d'una punta cònica, s'hi clava una paleta que té una resistència a la penetració equivalent.

Es combinen les lectures contínues del penetròmetre estàtic amb la realització d'assaigs *vane tests* a mesura que el molinet o la paleta es claven en el sòl.

D'aquesta manera, es poden fer assaigs de manera pràcticament contínua i se n'obté una columna de resistència del sòl. Normalment, els assaigs de tall es fan cada 0,5 / 1 m.

El penetròmetre dinàmic

El penetròmetre dinàmic té un principi de funcionament similar a l'SPT. Es tracta de mesurar el nombre de cops necessari per aconseguir una penetració determinada –de 20, 25, o 30 cm, segons el tipus d'aparell– en el sòl, amb una massa que colpeja en caiguda lliure des d'una altura determinada. La fotografia inferior esquerra mostra un carro d'eruga equipat per introduir una punta en el sòl per impacte d'una massa.



Es tracta d'aparells molt simples i robustos, que no estan normalitzats, raó per la qual cada aparell disposa d'unes taules per a la interpretació dels resultats. Les puntes de penetració poden tenir secció quadrada (40 x 40 mm) o circular (40 mm \varnothing), amb un angle d'atac de 90° (fotografia superior dreta).

La seva simplicitat comporta també alguns desavantatges, atès que, per efecte dels impactes, el sòl pot presentar una resposta mecànica diferent de la que tindria davant d'una sol·licitació estàtica.

El penetròmetre dinàmic, igual que el estàtic, tampoc no ofereix la possibilitat d'obtenir cap mena de mostra del sòl travessat. Aquest fet obliga a combinar, en les campanyes de prospecció, la utilització del penetròmetre dinàmic amb els sondeigs.

La seva acció també queda limitada als 15 m, per raó de les possibilitats del treball a compressió del barnillatge. A més, aquest influeix amb el seu pes en els resultats de l'assaig.



El pressiòmetre

El pressiòmetre és un aparell inventat l'any 1954 per Louis Ménard (1931-1978). Actua per mitjà de la introducció d'una sonda en la perforació d'un sondeig i permet fer la posada en càrrega de les seves parets, a diferents fondàries, per mitjà de pressió hidràulica fins a aconseguir-ne el col·lapse.

La sonda disposa de dues cèl·lules concèntriques. L'exterior s'anomena *de guarda o de protecció* i té per objecte evitar danys durant les operacions d'ascens i descens de la cèl·lula de càrrega.

Els diàmetres de la sonda oscil·len entre els 32 i els 74 mm, per tal d'adaptar-se al del sondeig. Des del panell de control situat a l'exterior, les sondes es dilaten radialment per mitjà de la injecció d'aigua a pressió fins a un màxim de 80 atmosferes. La càrrega s'aplica per etapes, amb una durada d'entre 6 i 14 s cadascuna d'elles, d'acord amb una progressió aritmètica.

En primer lloc, es provoca la posada en càrrega de les parets del sondeig en contacte amb ella i, posteriorment, s'incrementa la pressió fins a produir el trencament del sòl.

La fotografia inferior esquerra mostra un pressiòmetre en acció. Es pot apreciar el dipòsit de gas que indueix la pressió. A la fotografia central, s'observa el conjunt del panell de mesurament i la sonda.



Les deformacions s'amiden per mitjà d'un mesurador de volum hidràulic. Els resultats s'expressen de forma gràfica per mitjà d'un sistema de coordenades. Les abscisses contenen les pressions i les ordenades, la variació de volum.

El mòdul pressiomètric, E_p , assimilable al mòdul edomètric, E' , es determina a partir del valor mitjà de la fase pseudoelàstica del sòl. El gràfic superior dret recull una corba característica de la posada en càrrega d'un pressiòmetre.

El pressiòmetre és un aparell d'informació discontinua, atès que l'assaig es realitza a les fondàries del sondeig que s'estimen necessàries.

L'assaig de placa

L'assaig de placa té per objecte mesurar les càrregues que provoquen el col·lapse del sòl i les deformacions que en resulten fins a establir una nova situació d'equilibri.



L'assaig de placa es realitza, habitualment, per mitjà de plaques rígides circulars de 30, 60 o 70 cm de diàmetre, o quadrades, la mesura més usual de les quals és 45 cm.

La placa se sotmet a càrrega fins al col·lapse del sòl, per mitjà d'un gat hidràulic que reacciona contra un camió o una màquina pesant (fotografies inferiors). Per a la mateixa funció, també hi ha equips més senzills i lleugers, que funcionen per impacte.



La mesura dels assentaments es realitza col·locant tres comparadors, disposats radialment a 120° un de l'altre. La seva precisió és d'una centèsima de mil·límetre. El control de les pressions es duu a terme per mitjà de manòmetres o amb anells dinamomètrics.

El procediment operatiu és molt simple: es posa en contacte la placa sobre el sòl, preparat amb una placa de guix o un paper gruixut, exercint-hi una lleu pressió. A continuació, es va augmentant la càrrega progressivament, controlant els assentaments fins que es produeix el col·lapse del sòl. S'entén com a tal la situació tensional que provoca deformacions desproporcionades amb increments relativament petits de les tensions.

El valor representatiu de l'assaig de placa és el mòdul de balast que resulta de dividir la tensió per l'assentament ($\text{kg/cm}^2/\text{cm} = \text{kg/cm}^3$, $\text{Ton/m}^2/\text{m} = \text{Ton/m}^3$).

L'assaig de placa és útil per determinar les resistències superficials dels sòls. Els seus resultats no es poden extrapolar, sense correccions, a les sabates de fonamentació, ja que aquestes, per les seves dimensions, afecten fondàries de sòl molt superiors a les afectades per les plaques.

Les limitacions que la seva execució imposa i la superficialitat dels seus resultats fan que sigui un assaig més adequat per a la construcció de soleres i carreteres que per a fonaments d'edificació.

L'assaig de placa s'ha inclòs entre els aparells de camp per determinar paràmetres geotècnics perquè permet obtenir, a partir del mòdul de deformació E , el mòdul edomètric E' , amb les relacions:

$$E = \frac{55 \cdot \sigma}{\delta}$$



on:

- σ = pressió de contacte sòl-placa
- δ = assentament produït per la pressió de contacte sòl-placa
- El mòdul edomètric és $E' = 3/2 E$

Els assaigs de placa permeten obtenir *in situ* les informacions i els paràmetres geotècnics següents:

- La capacitat de càrrega d'un sòl per a un assentament determinat.
- El coeficient de balast, K (kg/cm^3). És el quocient entre la tensió de contacte, σ , entre la placa i el sòl (kg/cm^2) i l'assentament, δ (cm). A tall d'exemple, si es té una tensió de contacte de $2,00 \text{ kg}/\text{cm}^2$ que produeix un assentament de $2,50 \text{ cm}$, $K = 2,00/2,50 = 0,8 \text{ kg}/\text{cm}^3$, que equival a $800 \text{ Ton}/\text{m}^3$.
- El mòdul de deformació del sòl E (kg/cm^2) i, a partir d'ell, el mòdul edomètric.

El mòdul de balast no depèn exclusivament de les característiques del sòl. També està relacionat amb la geometria de la fonamentació i, fins i tot, de la capacitat de deformació de l'estructura suportada. Cal, doncs, extrapolar els valors obtinguts als assaigs de placa a les dimensions reals dels elements de fonamentació, d'amplada b i longitud l . Per aquest motiu, els valors de K s'acompanyen d'un subíndex, corresponent a la dimensió de la placa o el fonament amb què es corresponen.

Així, es té K_{30} , K_{60} , K_b o $K_{b,l}$. Els dos darrers valors de K corresponen, respectivament, a una sabata quadrada de costat b , i a una sabata rectangular d'ample b i llarg l , respectivament, expressats en cm.

L'any 1955, Karl von Terzaghi va donar els valors de conversió de K per a una sabata quadrada:

Per a sòls cohesius, $K_b = K_{30} (30/b)$

En cas dels sòls granulars, $K_b = K_{30} \cdot \frac{(b+30)^2}{(2b)}$

Un cop obtingut el valor de K_b per al sòl corresponent, si la sabata és rectangular, de longitud l , el seu mòdul de balast $K_{b,l}$ s'obté de l'expressió:

$$K_{b,l} = 2/3 K_{30} \cdot (1 + b/2l)$$

Si es treballa en Ton/m^3 , en lloc de kg/cm^3 , cal canviar el valor 30 per 0,30 en les expressions anteriors.



En el cas de les lloses de fonamentació, es recomana emprar, com a valor de b , la distància mitjana entre eixos dels pilars. Adoptar com a valors de b i l les mesures reals de la llosa suposaria obtenir mòduls de balast excessivament baixos.

Relacions empíriques

A continuació, es detallen algunes relacions empíriques entre els resultats obtinguts amb diversos aparells de camp per determinar alguns paràmetres geotècnics.

De la relació entre la resistència en punta, R_p , obtinguda per un penetròmetre estàtic i el nombre de cops, N , d'un SPT sobre el mateix tipus de sòl, es té:

- R_p = resistència en punta obtinguda en un penetròmetre estàtic, en kg/cm^2
- N = nombre de cops d'un assaig SPT
- n = factor de conversió segons el tipus de sòl
- σ_a = tensió admissible del sòl, en kg/cm^2
- C = cohesió del sòl, en kg/cm^2

Empíricament, entre la resistència en punta, R_p , i N s'estableix la relació:

$$R_p = N \cdot n$$

- $n = 6$, per a sorres argiloses
- $n = 5$, per a llims sorrencs
- $n = 4$, per a argiles sorrenques
- $n = 3$, per a argiles llimoses

En funció de l'ample, B , de la sabata, indicat en metres, i de les relacions precedents, s'obtenen les expressions següents, que relacionen la tensió admissible, σ_a , amb R_p i N .

Si $B < 1,30$ m (sabates corregudes, a efectes pràctics), es té:

$$\sigma_a = \frac{R_p}{30} \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = \frac{N}{10} \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{sòls coherents, argiles i llims})$$

$$\sigma_a = \frac{N}{8} \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{sòls granulars, sorres i graves})$$

Si $B > 1,30$ m (sabates aïllades, a efectes pràctics)

$$\sigma_a = \frac{R_p}{40} \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = \frac{N}{12} \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{sòls coherents, argiles i llims})$$



$$\sigma_a = \frac{N}{10} \text{ kg/cm}^2 \text{ (sòls granulars, sorres i graves)}$$

En funció de la resistència en punta, R_p , obtinguda amb un penetròmetre estàtic, es pot determinar, de manera aproximada, la cohesió del sòl, C , d'acord amb la relació empírica:

$$C = \frac{R_p}{60} \text{ kg/cm}^2$$

Igualment, emprant les relacions empíriques exposades, es pot estimar, de forma conservadora, la tensió admissible, σ_a , a partir de la cohesió, C , d'acord amb l'expressió:

$$\sigma_a = 1,6 \cdot C$$

Recapitulant les relacions precedents, es té:

$$\sigma_a = \frac{R_p}{de \ 30 \ a \ 40} \text{ kg/cm}^2 \quad i \quad C = \frac{R_p}{60} \text{ kg/cm}^2$$

Els valors de quocient compresos entre 30 i 40 donen lloc a una forquilla de resultats compresos entre:

$$60/40 = 1,50 \quad 60/30 = 2$$

El valor de la mitjana seria 1,75 però, per seguretat, es redueix al factor 1,6 que s'indica a la relació empírica.

Si bé és possible obtenir a les sorres relacions entre la R_p i la seva densitat (taules de Meyerhoff), no succeeix el mateix amb les argiles. A títol orientatiu, la densitat de les argiles es manté força constant en franges properes a les 2 Ton/m³, sempre que no incloguin matèries orgàniques.

→ 6



Fonaments superficials i semiprofunds

6.1 El concepte de fonament

Els sòls són materials de comportament plàstic i fàcilment deformables, si més no en relació amb els materials de construcció habituals. Es poden trobar sòls amb mòduls edomètrics per sota dels 50 kg/cm^2 , mentre que els materials de construcció massius més usals, com les fàbriques de totxo o de pedra, tenen mòduls de deformació compresos entre els 20.000 i els 35.000 kg/cm^2 .

Materials de construcció amb prestacions més elevades, com el formigó, tenen mòduls de deformació al voltant dels 200.000 kg/cm^2 i l'acer, un mòdul elàstic de 2.100.000 kg/cm^2 .

Resulta evident que el contacte directe d'aquests materials amb el sòl en provocaria el col·lapse i, de retruc, el de la construcció que s'hi pretengués recolzar.

Els fonaments, sigui quina sigui la seva configuració conceptual i geomètrica, són elements d'interposició entre l'estructura dels edificis i el sòl. La seva funció fonamental és compatibilitzar i harmonitzar la baixa capacitat portant del sòl amb els requeriments tensionals de l'edifici, pel que fa tant a la seva estructura com a la integritat dels seus tancaments, atès que els edificis responen a les sol·licitacions de forma conjunta, com si es tractés d'un organisme.

Els fonaments superficials, en general, són la solució més simple per transmetre el pes de l'estructura al sòl. Per tant, són la primera opció que cal temptejar. A aquest efecte, el punt de partida de l'estimació de càrregues de l'estructura.

El procés geomètric matemàtic que permet obtenir les càrregues de servei, P , per metre lineal de mur portant i/o dels diferents suports puntuals és conegut com el *descens de càrregues*.

La segona dada que convé considerar, a l'hora de dissenyar els fonaments, és la tensió admissible del sòl, σ_a . Aquest valor ha de venir definit, en l'estudi geotèc-



nic, per a cada estrat on es prevegi efectuar fonaments i pel rang de les càrregues aportades per l'edifici, junt amb unes recomanacions tècniques sobre el tipus de fonament que s'hi ha d'emprar. El valor de la tensió admissible del sòl, σ_a , s'obté de l'equació de Terzaghi (termes de cohesió, de densitat i de fondària). La seva aplicació és més pròpia d'especialistes en sòls que de projectistes de fonaments, per als quals, com a usuaris dels paràmetres geotècnics, el valor de partida és la tensió admissible del sòl, σ_a .

Si es coneix la zona, en els temptejos preliminars es poden emprar valors de σ_a extrets de taules o de referències. El valor de σ_a ha de garantir assentaments admissibles. En cap cas, però, es pot obviar la realització d'un estudi geotècnic per realitzar un projecte executiu.

Habitualment, la càrrega de servei, P , s'incrementa en un 10 %, per tal de considerar el pes propi del fonament.

A partir de les carregues de servei, es pot determinar la geometria en planta de les sabates lineals i aïllades de base quadrada, rectangular o circular, d'acord amb les expressions següents:

$$\sigma_a = \frac{P + 10\%P}{100 \times b} \quad (\text{sabata lineal sota mur})$$

$$\sigma_a = \frac{P + 10\%P}{b \times b} \quad (\text{sabata quadrada})$$

$$\sigma_a = \frac{P + 10\%P}{a \times b} \quad (\text{sabata rectangular, } a \text{ i } b \text{ són dades})$$

$$\sigma_a = \frac{P + 10\%P}{\pi \times b^2 / 4} \quad (\text{sabata circular})$$

6.2 Criteris generals de disseny

Com a norma general, en primer lloc es tempteja una solució amb fonaments superficials, perquè és la més senzilla i econòmica de realitzar. Si la superfície que ocupen els fonaments superficials és superior al 50 % de la superfície de la planta, cal considerar altres alternatives. En aquests casos, es pot optar per una llosa de fonamentació, per pilons o, si la fondària de l'excavació no supera els 6,00 m com a valor de referència, per fer pous de fonamentació.

En l'elecció final del sistema de fonamentació, hi intervenen altres paràmetres, tant tècnics com econòmics, raó per la qual es necessari seguir uns protocols de disseny estructurats a fi d'escollir la solució idònia.

De forma convencional, es considera que un fonament és superficial si la fondària h de la seva excavació, en relació amb l'amplada b , és inferior a 4. Per raons



pràctiques, la fondària d'una fonamentació superficial no hauria d'excedir els 4 m, perquè aquesta és la fondària a què arriba una excavadora convencional.

Per realitzar fonaments superficials o directes, és necessari disposar d'estrats resistents a poca fondària de la superfície. Es parteix d'aquest supòsit per incidir sobre els diferents tipus de fonaments superficials i les seves aplicacions.

El disseny constructiu dels fonaments superficials més habitual es realitza amb formigó armat.

També es farà referència als fonaments semiprofunds, atesa la seva proximitat conceptual i d'execució respecte dels fonaments superficials.

6.3 Tipologies de fonaments superficials i semiprofunds

A continuació, es detallen, de manera esquemàtica, els tipus més usuals de fonaments:

- Fonaments superficials de formigó en massa
 - Sabates contínues rígides sota murs
 - Sabates aïllades rígides sota pilars
- Fonaments superficials de formigó armat
 - Sabates aïllades
 - Sabates associades
 - Sabates excèntriques
 - Bigues centradores
 - Bigues de fonamentació
 - Traves
 - Lloses de fonamentació
- Fonaments semiprofunds
 - Pous i arcs
 - Pous de fonamentació

Es consideren fonaments semiprofunds, en funció de la seva geometria, aquells en què la proporció h/b se situa entre 4 i 10. Als efectes pràctics d'execució, els pous de fonamentació es construeixen quan l'estrat resistent es troba entre 4 i 6 m de fondària. Per a fondàries superiors, resulta més competitiva una fonamentació realitzada amb pilons.

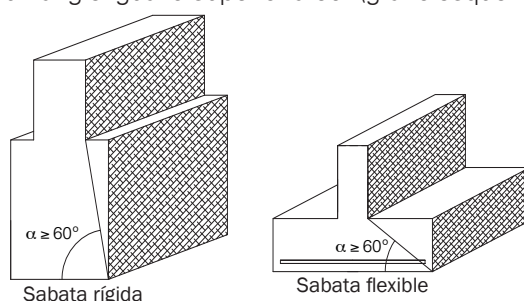
6.3.1 Les sabates contínues sota murs

Es construeixen obrint rases de secció superior a la del mur que es vol fonamentar, utilitzant el sòl com a encofrat. Les sabates contínues sota mur són el tipus de fonament més habitual per suportar obres de fàbrica.

Tradicionalment, es feien amb maçoneria, lligada amb morter de calç, i, a partir dels anys trenta del segle xx, amb formigó ciclopi, elaborat amb ciment pòrtland.



La manca de materials de construcció amb capacitat de treballar a flexió propiciava la realització de sabates rígides, enteses com a tals aquelles en què la geometria de la secció oferia un angle igual o superior a 60° (gràfic esquerre següent).

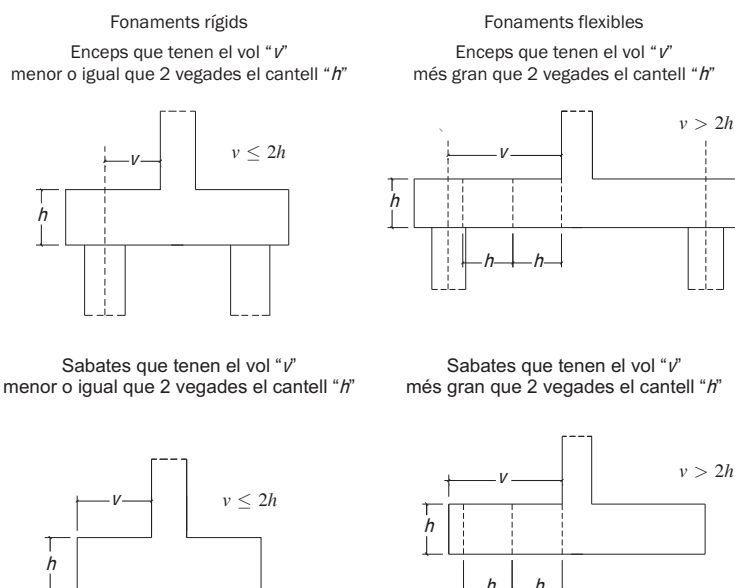


Si el vol de la sabata respecte del mur que suporta és elevat i l'angle α és inferior a 60° , l'alternativa per garantir la resistència estructural de l'element és disposar armadures a flexió en sentit transversal, com es detalla al dibuix superior.

La rigidesa del mur garanteix l'efecte de l'armadura transversal en les zones volades. També cal col·locar les corresponents armadures de repartiment en sentit longitudinal. Les sabates flexibles, en tractar-se d'elements constructius de formigó armat, s'han de realitzar d'acord amb l'EHE-08.

6.3.2 Criteris de disseny constructiu per a les sabates armades. Algunes consideracions sobre la normativa

La instrucció EHE/08, a l'article 58, tracta dels elements de fonamentació analitzant de forma conjunta, en funció de la seva geometria, enceps i sabates, i estableix dos tipus d'enceps i de sabates: els rígids i els flexibles (gràfics esquerre i dret següents, respectivament).





Es consideren fonaments rígids aquells en què el vol v és inferior o igual a dues vegades el cantell h . Al gràfic de la pàgina anterior, es detallen els criteris per mesurar el vol.

Els fonaments rígids es poden resoldre exclusivament amb una armadura de flexió-tracció. No requereixen una armadura de tallant i, per tant, el seu armat és més senzill.

El tipus de fonament superficial que s'ha d'aplicar prioritàriament, sempre que sigui possible, és el rígid. Es recomana dissenyar les sabates rígides amb vols lleugerament per sota de la proporció 2:1. Incrementar més el cantell pot comportar, paradoxalment, la necessitat de col·locar més armadures per tal de complir amb les quanties mínimes.

Els fonaments flexibles són aquells en què el vol v és superior a dues vegades el cantell h . Han d'incorporar una armadura de punxonament-tallant, cosa que en complica l'execució. Només es justifiquen en casos excepcionals, com en el fons d'un vas amb roques difícils d'excavar o davant la presència de nivell freàtic a prop de la cota d'excavació.

El cantell mínim d'una sabata ha de ser ≥ 50 cm. Aquest criteri constructiu respon a la necessitat de garantir una longitud d'ancoratge raonable de l'armadura del pilar.

La longitud d'ancoratge ve donada per l'expressió pràctica $h \geq 10\phi^2 + 10$ cm. Els ancoratges d'armadures passives estan definits amb detall a l'article 69.4.1 de l'EHE-08. Els 10 cm corresponen a 5 cm de recobriment més la previsió de 5 cm per als dos gruixos de la graella.

Amb un cantell de 50 cm, es garanteix l'ancoratge de barres fins a $\phi 20$ mm. Aplicant-hi l'expressió pràctica, es té: $10 \times 22 + 10 = 50$ cm

Si el pilar portés rodons de diàmetre més gran, caldria incrementar el cantell, aplicant-hi la fórmula indicada per garantir l'ancoratge.

El cantell de 50 cm s'imposa, també com un mínim constructiu per a la durabilitat, la resistència a les gelades i el comportament mecànic.

Als 50 cm de formigó estructural, cal afegir, en la fondària mínima d'excavació, el gruix del formigó de neteja, un mínim de 10 cm, segons es detalla a l'apartat 3 de l'article 4.5.2.1 del DB-SE-C del CTE.

Sobre el formigó de neteja es col·loquen els separadors. La seva funció es facilitar el correcte recobriment de les armadures.

El cantell h de les sabates en cap cas no ha de ser inferior a 50 cm, tant per evitar els efectes de les gelades com per garantir, com s'ha indicat, l'ancoratge correcte dels pilars.

Les quanties geomètriques mínimes són de l'1,8 ‰, formant graella en cada direcció per a acer B500-S, i del 2 ‰, igualment formant graella en cada direcció per a acer B400-S (taula 42.3.5 de l'EHE/08).



La separació màxima entre les barres que formen graella ha de ser igual o inferior a 30 cm. La separació mínima no ha de ser inferior a 10 cm. Els valors aconsellables per a les separacions de les barres són d'entre 15 i 25 cm (entre quatre i set rodons per metre lineal).

El diàmetre mínim per a les armadures de la graella de la base d'una sabata és de 12 mm. El diàmetre recomanable per a sabates d'una certa entitat és de 16 mm o superior.

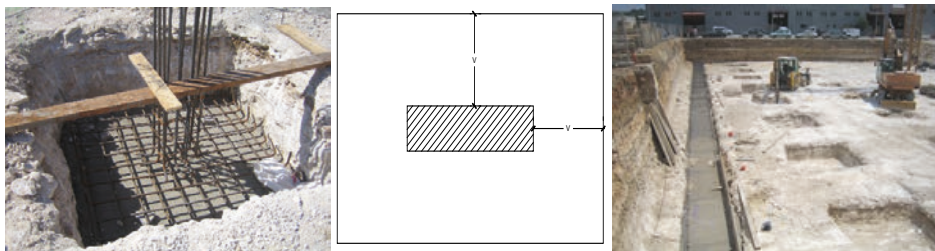
Les sabates aïllades

Les sabates aïllades són la solució constructiva més comuna per fonamentar estructures de pilars. En principi, se situa un pilar per sabata.

En el cas de les juntes de dilatació, poden coincidir dos pilars o més sobre una sola sabata. En aquestes situacions, a l'efecte del disseny, el sumatori de les càrregues de servei es considera concentrat en un punt, que coincideix amb el centre de gravetat de les càrregues que hi actuen, cosa que comporta dissenyar una sabata amb el centre de gravetat coincident amb aquest punt.

Les sabates es construeixen sempre monolítiques, encara que sobre elles es fonamentin dos pilars o més que formin part d'una junta de dilatació.

Habitualment, per qüestions de simplicitat constructiva, les sabates es fan de planta quadrada, com la de la fotografia inferior esquerra. Es tracta que els vols en cada sentit de la sabata siguin similars respecte del pilar. D'aquesta manera, les sabates es poder armar amb graelles iguals en els dos sentits. Si es tracta de fonamentar pilars molt apantallats, les sabates es realitzen amb planta rectangular, idealment de secció isoperimètrica amb el pilar, com es mostra al gràfic central. La fotografia inferior dreta il·lustra l'execució de les rases de fonamentació. En primer terme, s'hi observa el formigó de neteja de la sabata del mur de contenció.



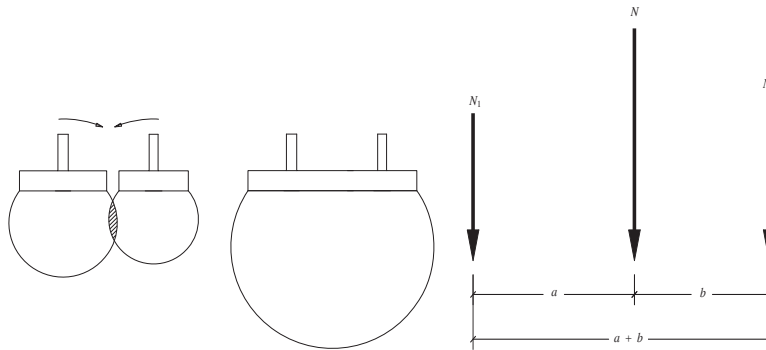
Es poden construir sabates rectangulars sota pilars sensiblement quadrats, per tal de no destorbar, per exemple, el pas d'una determinada instal·lació d'infraestructura o per tal d'evitar la superposició de tensions sobre el sòl. En aquesta situació, els armats són, necessàriament, diferents en cada sentit.

En general, en qualsevol disseny constructiu de fonaments superficials, cal preveure les cotes de coronació i d'excavació de les sabates per poder-hi col·locar, si és el cas, arquetes o d'altres elements sense generar interferències.



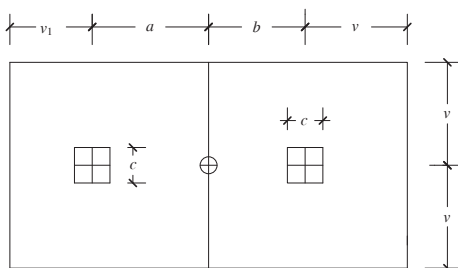
Les sabates associades

Les sabates associades són un recurs constructiu per recollir, de manera conjunta, l'acció de dos o més pilars molt pròxims (gràfic inferior esquerre i fotografia dreta).



A efectes pràctics, per al seu disseny es determina el punt de pas de la resultant de les càrregues de servei dels pilars, prenent moments respecte de N_2 , com es detalla al gràfic dret anterior.

El dimensionament de la planta de la sabata es realitza, a partir d'aquest moment, com si es tractés d'una sabata aïllada, igualant els vols en cada sentit, com es mostra en les dues equacions amb dues incògnites incloses al gràfic inferior, en què A és la secció obtinguda de dividir la càrrega N , suma de N_1 i N_2 , amb un increment del 10 % per la tensió del sòl, σ_a . Només el vol v_1 tindrà una dimensió inferior. Amb l'armat resultant del vol v , estarà del cantó de la seguretat.



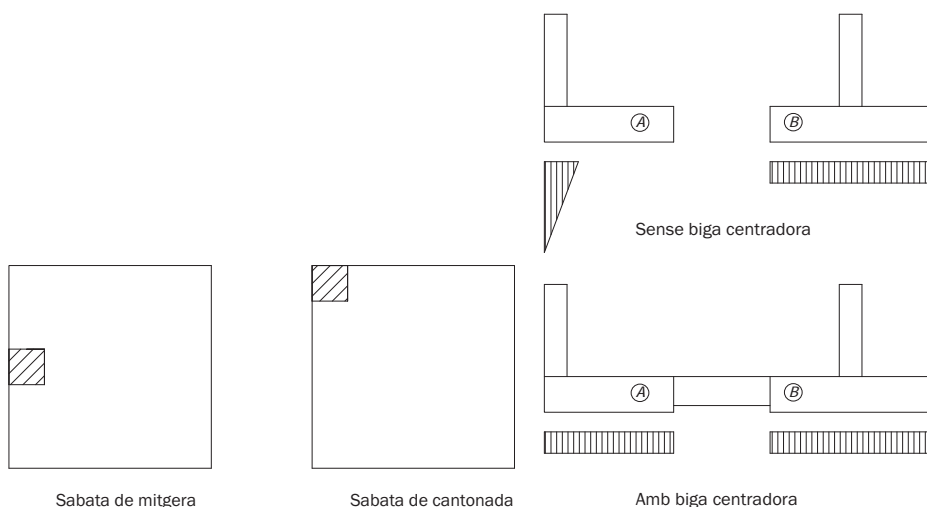
Les sabates excèntriques

Les sabates excèntriques són les que tenen limitat el vol en un o dos dels costats, per efecte de la presència d'una paret mitgera o d'una cantonada (gràfic inferior esquerre).



El seu comportament mecànic, de forma aïllada, seria molt deficient. Es produïrien concentracions de tensions incompatibles amb la capacitat portant del sòl per raó de l'excentricitat. El gràfic de la dreta, sense biga centradora, mostra la situació de concentració de tensions sota la sabata a la zona del pilar.

Per pal·liar aquesta situació, cal utilitzar el recurs constructiu de les bigues centradores (gràfic de la dreta). No es poden dissenyar sabates excèntriques sense disposar de la biga centradora corresponent.



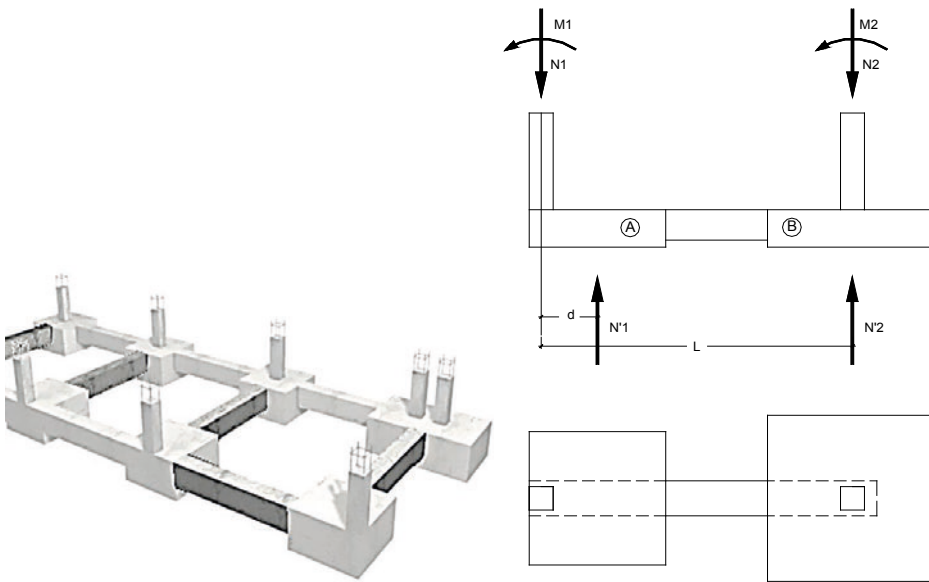
Les bigues centradores

Les bigues centradores vinculen les sabates excèntriques a les interiors centrades. Per mitjà de la seva rigidesa i de la reacció del suport interior, les bigues centradores actuen com una palanca que impedeix el gir de la sabata excèntrica. S'homogeneïtza així la tensió sota la base de la sabata excèntrica, com es mostra al gràfic inferior dret.

Si bé les bigues centradores formen part del sistema de fonamentació, no tenen la funció portant de les càrregues dels suports. La seva secció en contacte amb el sòl no es considera. Per aquest motiu, la biga centradora es dibuixa deslligada del sòl en els gràfics, per bé que, per raons de pràctica constructiva, el seu cantell es fa coincidir habitualment amb el de les sabates que enllaça.

El gràfic esquerre següent mostra un esquema conjunt de sabates excèntriques i centrades, unides amb bigues centradores. Les bigues centradores estan dibuixades en gris intens i les sabates corregudes sota murs de tancament, en gris clar. Observeu com la sabata de cantonada, que apareix en primer terme, necessita dues bigues centradores ortogonals per corregir la seva excentricitat.

El gràfic posterior dret detalla les dades de partida en forma de geometria, d'axials i de moments necessaris per fer el disseny constructiu d'una biga centradora.



Les bigues centradores estan sotmeses a moments flectors elevats, a causa de la forta excentricitat que hi ha entre l'eix del pilar i l'eix de la sabata. A tall d'exemple –i sense entrar a analitzar l'acció dels moments ni la reacció a la base de la sabata–, si al gràfic superior dret es considera un valor de N_1 de 100 tones i una excentricitat d entre la càrrega i la reacció de la sabata d'1 m, el moment resultat seria de l'ordre de 100 mTon. Aquest moment és equivalent al que suportarien 100 biguetes de forjat que treballessin conjuntament. En general, les bigues centradores requereixen seccions importants: hi són freqüents els canells d'entre 80 i 150 cm, i les amplades de 60 a 100 cm.

Les bigues de fonamentació i els engrallats

Les bigues de fonamentació o bigues flotants constitueixen una solució per fonamentar estructures de pilars alineats amb càrregues de servei inferiors a 50 tones, no separats excessivament entre si, almenys en un dels eixos. La separació entre eixos dels pilars no hauria de superar els 5 m. És el cas de les naus industrials o dels poliesportius (gràfic inferior esquerre).





Les bigues de fonamentació i els engraellats s'utilitzen en sòls de capacitat portant mitjana ($> 1 \text{ kg/cm}^2$) com a alternativa d'un sistema de sabates i traves, atès que les bigues flotants permeten recolzar-hi els tancaments. L'excavació se simplifica, i d'un sistema de rases i pous es redueix a simples rases. En canvi, les quanties d'armat són superiors, en intervenir-hi la llum entre pilars al quadrat. La fotografia superior dreta mostra un engraellat en fase de construcció. S'hi han realitzat les rases, s'hi ha col·locat el formigó de neteja i l'aferrallat està realitzat.

Les bigues de fonamentació, igual que les bigues de coronació dels murs pantalla, reben també el nom de *bigues invertides*, perquè els moments flectors, en reaccionar contra el sòl, tenen signe contrari al de les bigues sotmeses a càrregues gravitatòries.

La interacció sòl-estructura en el cas de les bigues de fonamentació és molt complexa. El problema s'afronta, a la pràctica, establint un cantell h de la biga, en funció de la llum L entre suports, que garanteixi un repartiment uniforme dels esforços puntuals dels suports sobre el sòl. Es considera que l'amplada b de la biga ve donada.

A aquest efecte, s'utilitza l'expressió de Westergaard.

Atenció la fórmula es una arrel quarta. Cal fer "be" la representació del radical

$$L = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot I}{b \cdot K}}$$

on:

L = distància entre suports, en cm

E = mòdul de deformació del formigó. Es pot adoptar $2 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$

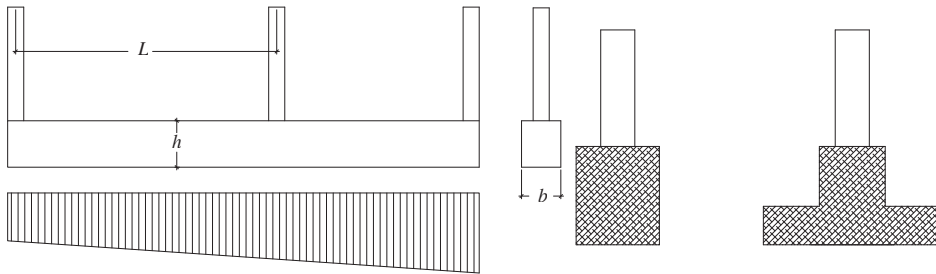
K = coeficient de balast del sòl, en kg/cm^3

I = moment d'inèrcia de la secció de formigó, en cm^4

El moment d'inèrcia I , expressat en funció de la geometria de la secció, val:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

Per tant, coneguda l'amplada b , que estableix una tensió de contacte igual o inferior a l'admissible, és possible determinar el cantell h , que garanteix una transmissió lineal i homogènia de les càrregues del suport al sòl, tal com es representa al dibuix de la pàgina següent



La secció de les bigues de fonamentació pot ser rectangular o en forma de T invertida, com es mostra al gràfic superior dret.

L'aplicació de la fórmula de Westergaard, perquè sigui vàlida, depèn de dos factors:

- Les càrregues entre suports consecutius no difereixen entre si més del 20 % del valor més gran.
- Les llums entre suports consecutius no difereixen entre si més del 20 %.

Cal una certa regularitat de càrregues i de llums.

Traves

Les traves són elements auxiliars dels fonaments superficials i profunds de secció rectangular que s'aferrallen i es formigonen habitualment en rases excavades en el terreny. En els fonaments superficials, la seva funció és lligar les sabates entre si per tal de fer front de forma conjunta a esforços horitzontals, ja siguin empentes de terres, sobrecàrregues o sismes. En els fonaments profunds, la seva funció principal és l'absorció de les excentricitats dels enceps.

Els criteris de càlcul i de disseny per respondre als efectes sísmics es recullen a la norma de construcció resistent als sismes vigent (NCSE-02). En cas de sismes, com a conseqüència de la formació d'ones en el sòl, es produeixen tant compressions com traccions (v. annex 10 EHE-08).

La norma de construcció resistent als sismes (NCSE-02) estableix la necessitat de realitzar traves de formigó armat en dues direccions quan l'acceleració sísmica de càlcul, a_c , és superior a 0,16 g.

Si a_c és inferior a 0,16 g, es pot considerar que l'element de lligat és la solera de formigó. A aquest efecte, cal que es compleixin les condicions establertes a l'EHE-08 (v. annex 10, apartat 6.8), que són les següents:

- La solera se situa al nivell de les sabates o recolzada a la seva cara superior.
- La solera ha d'envoltar tots els pilars.



- La solera té un gruix igual o superior a $1/50$ de la llum més gran i sempre és igual o superior a 15 cm.
- Els armats de la solera tenen quanties mínimes.

En funció del que s'ha exposat, les traves es dimensionen amb capacitat per treballar tant a tracció com a compressió. El criteri que se segueix habitualment a l'hora d'armar-les és que tinguin una capacitat de treball a tracció i a compressió equivalent al 10 % del pilar més carregat dels dos que enllacen.

Els estreps de les traves es col·loquen seguint els criteris habituals dels pilars:

- El diàmetre dels estreps és igual o superior a la quarta part del diàmetre de la barra més gran.
- La separació entre estreps consecutius és inferior a quinze diàmetres de la barra més prima.
- La separació màxima entre estreps, en qualsevol pla, no pot ser superior a 30 cm.

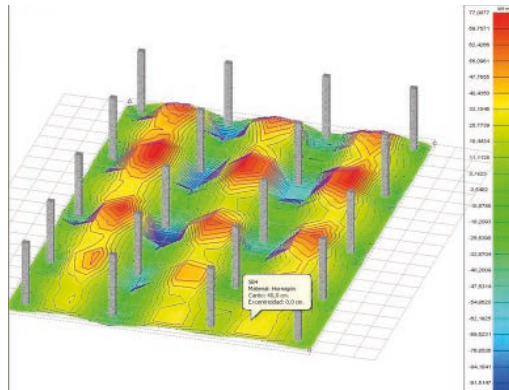
La fotografia inferior esquerra mostra la realització d'una sabata encofrada, travada segons dos eixos ortogonals. La fotografia de la dreta permet apreciar, en primer pla, una sabata formigonada. Disposa d'una reserva preparada per absorbir les toleràncies dimensionals necessàries per incorporar, de forma precisa, un pilar prefabricat. Està enllaçada amb les sabates veïnes per mitjà de les traves corresponents.



Lloses de fonamentació

Les lloses de fonamentació, gràcies a la seva gran superfície de contacte amb el sòl, constitueixen una solució constructiva per fonamentar estructures de suports aïllats sobre sòls de baixa capacitat portant, d'entre 0,50 i 1,00 kg/cm².

El seu comportament mecànic és similar al d'un sostre invertit. Per tant, les lloses de fonamentació estan sotmeses a esforços de flexió tant positius com negatius, de tallant i de punxonament, com es mostra en el gràfic esquerra de la pàgina següent. Els majors esforços de flexió i de tall es produeixen sota les bases dels pilars.

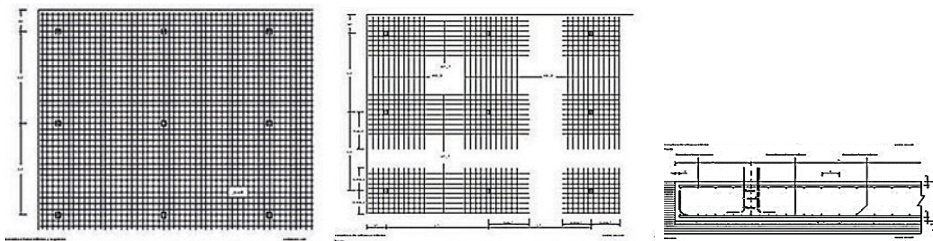


Per fonamentar amb llosa, cal que l'estructura sigui la més homogènia i estructurada possible, per tal que el seu armat també ho sigui. Les armadures de les lloses de fonamentació es disposen, en principi, simètriques en les dues cares. Són les anomenades *armadures de base*.

Les armadures de base es poden completar, a la cara inferior, amb armadures de reforç intercalades. Es disposen per fer front a l'escreix de moments positius i d'esforços de tall que es produeixen a les bases dels pilars. Cal recordar que el funcionament mecànic d'una llosa de fonamentació és invers al d'una peça flectada, sotmesa a esforços gravitatoris.

L'esquema inferior esquerre mostra les armadures de base que s'han de col·locar a cada cara de la llosa. L'esquema central correspon a les armadures de reforç. Habitualment, la longitud de les zones reforçades oscil·la, a cada costat de l'eix del pilar, entre el 35 i el 40 % de la longitud de la llum.

El de la dreta mostra que s'han de doblegar almenys el 50 % de les barres als extrems per tal de garantir l'armat de les testes de la llosa i, si és el cas, contribuir a l'enllaç entre la llosa i el sistema de contenció de terres.



Les quanties habituals de les lloses de fonamentació oscil·len entre 40 i 60 kg d'acer per metre cúbic de formigó.

La fotografia esquerra de la pàgina següent permet apreciar la disposició de creuetes de punxonament sota la base d'un pilar com a alternativa constructiva a les armadures de reforç.



En el cas de les lloses, cal preveure la presència d'elements singulars que n'alteren la continuïtat, com els fossats d'ascensor, els aljubus, els pous de bombament o conduccions a l'interior de la llosa, col·locant en posició els tubs pertinents abans de formigonar.

La fotografia inferior dreta, corresponent a una llosa de fonamentació en les darreres fases d'aferrallat, permet observar que les graelles superior i inferior estan separades, segons la mida del cantell de la llosa, per uns rodons doblegats, anomenats *peus d'ànec*. La distribució i la densitat dels peus d'ànec han de permetre la circulació d'operaris pel damunt, per realitzar les tasques d'aferrallat i de formigonatge. També es poden apreciar els armats corresponents a la reserva per a un fossat d'ascensor en el si de la llosa.



Abans de formigonar una llosa de fonamentació, cal revisar amb cura la presència i la ubicació correcta dels elements singulars que l'han de configurar. La possibilitat de corregir errades, un cop formigonada la llosa, és pràcticament impossible i, en tot cas, molt onerosa.

En la mesura del possible, convé evitar el pas de xarxes de clavegueram per l'interior de les lloses de fonamentació (fotografies inferiors).



El diàmetre mínim recomanable de les armadures per a una llosa de fonamentació és de 12 mm.



Com a criteri de disseny, cal tenir present que, per damunt dels mallats que en resulten, els operaris han de circular per realitzar les operacions d'aferrallat i de formigonatge. Les armadures més habituals corresponen als diàmetres de 16 i 20 mm. Es recomana que el quadre de la retícula de base faci entre 15 i 25 cm, per les raons d'ergonomia ja esmentades.

Formigonatge. Formigonar una llosa de fonamentació requereix abocar una gran quantitat de formigó en un temps relativament reduït per tal de garantir unions successives entre formigons frescos. L'abocament, si bé en algunes zones es pot fer directament amb canaleta, cal programarlo, de forma general, per mitjà de bombes de formigó, en funció de les distàncies que es vulguin cobrir.

Les bombes de formigó tenen una capacitat teòrica d'abocament d'entre 100 i 150 m³/h, segons els models. La capacitat teòrica queda limitada, molt sovint, per les possibilitats d'accessibilitat a l'obra dels camions formigonera.



En determinades ocasions, s'aprofita la realització de les lloses de fonamentació per executar, en una sola operació, la llosa pròpiament dita, i un acabat superficial per deixar enllestit el paviment del darrer soterrani. Aquest es duu a terme per mitjà d'un remolinet mecànic amb pols de quars, amb màquines com les que es reproduïxen a les fotografies anteriors (al centre i a la dreta).

Quan es comparen els temps i els costos dels diversos sistemes de fonamentació, si es considera el fet que les lloses poden resoldre, en una sola operació, fonaments, solera i paviment, aquestes es converteixen molt sovint en solucions competitives.

Si bé els manuals de construcció mostren la possibilitat d'efectuar lloses nervades, amb nervis encofrats en el terreny o cap a la part superior del pla de fonamentació, com a evolució lògica dels engrallats, el fet és que el cost i el temps necessari per construir-los no solen compensar la senzillesa d'execució de les lloses massisses.

Predimensionament del cantell. El predimensionament del cantell h de les lloses de fonamentació, amb un mínim de 50 cm, es pot determinar, de forma empírica, a partir de l'expressió:

$$h = L_{\max} / 10 + 20$$

en què L_{\max} és la distància màxima entre dos pilars immediats, en cm. Els cantells se situen habitualment entre 70 i 100 cm, i cal afegir-hi uns 10 cm per disposar-hi el formigó de neteja.



La fórmula empírica indicada no té en consideració la càrrega dels suports, si bé constitueix una bona base de templeig per a les situacions més freqüents en edificació.

Es pot considerar la possibilitat d'emprar lloses de fonamentació en sòls amb més capacitat portant a $1,00 \text{ kg/cm}^2$, si l'ocupació de les sabates en planta és superior al 50 % de la superfície d'aquesta.

Les lloses de fonamentació també poden ser indicades quan els assentaments d'una fonamentació aïllada són excessius.

Pes de la llosa. Fonamentació per substitució. A fi de considerar les accions llosa-sòl, s'estima que el pes de la llosa incrementa les càrregues gravitatòries en un 15 %. Tot aquest pes o una part es pot compensar per l'extracció de les terres que resulten de la formació d'un vas sota rasant.

L'aplicació del criteri esmentat dóna lloc a la tècnica de fonamentació anomenada *de substitució*. Consisteix a extreure una quantitat de terres de pes equivalent a l'edifici que s'hi vol implantar, sempre que les operacions es facin amb prou rapidesa per evitar la descompressió del sòl. Aquest és un mètode excel·lent per evitar assentaments.

Lloses d'estanquitat. Les lloses de fonamentació també permeten, si es vinculen als murs de contenció perimetrals, realitzar soterranis impermeables sota el nivell freàtic. Davant la presència d'una columna d'aigua, les lloses de fonamentació són imprescindibles. Llavors s'anomenen *lloses d'estanquitat*.

Des del punt de vista mecànic, a més de suportar les càrregues pròpies d'un sistema de fonamentació, les lloses d'estanquitat han d'estar dissenyades per resistir les subpressions generades per la columna d'aigua, determinades en les condicions pitjors.

Si el nivell freàtic es troba molt alt, cal enllaçar les lloses d'estanquitat a sistemes de fonaments profunds (pilons o micropilons), per evitar la flotabilitat de la caixa formada per les contencions perimetrals i la pròpia llosa.

A l'hora de considerar els esforços sobre les pantalles, cal incloure-hi també l'efecte de la sobrepressió de l'aigua, amb la particularitat que la presència dels ancoratges redueix les longituds sotmeses a flexió.

La fotografia esquerra de la pàgina següent correspon a la construcció d'un vas d'edificació amb un nivell freàtic alt. Es pot observar com l'aigua es filtra a través de les perforacions dels ancoratges, malgrat el bombament constant que es fa a través dels pous Siemens. L'aigua extreta del bombament s'ha de decantar per eliminar-ne les restes minerals que pugui contenir abans d'abocar-la al clavegueram.

La fotografia de la dreta mostra el sanejament de la zona inferior de les pantalles a l'altura de la llosa de fonamentació i estanquitat, per tal de facilitar la unió entre ambdós elements constructius i barrar el pas a l'aigua. A aquest efecte, a mà dreta s'observa la presència de connectors ancorats a la pantalla. En primer terme, es poden apreciar els caps de diversos micropilons, els quals evitaran la flotació de la pantalla quan l'abatiment del freàtic s'aturi.



Aspectes limitadors. Les lloses de fonamentació, per raó de la seva geometria, generen grans bulbs de pressions i, en conseqüència el seu ordre d'assentament es prop del doble del d'un fonament superficial, d'uns 5 cm. Aquesta raó i la interacció llosa-sòl imposa algunes limitacions a la utilització de lloses de fonamentació:

- No es poden utilitzar en la construcció entre parets mitgeres. L'elevat ordre de magnitud d'assentament de les lloses produeix un efecte d'arrossegament que malmet els edificis veïns.
- La presència de sòls heterogenis sota la llosa podria produir girs a causa dels d'assentaments diferencials. Aquests girs afectarien tot l'edifici. Per tant, les lloses s'han de recolzar sobre estrats homogenis i potents. Si no és així, s'han d'emprar fonaments semiprofunds o profunds.
- Per afavorir la racionalitat de les armadures, és recomanable que l'estructura de l'edifici es plantegi, preferiblement, per mitjà de llums homogènies i eixos ortogonals. Lògicament, aquest és un tema d'ordre menor, però això no exclou que, en la fase de disseny, es procuri respectar el criteri de racionalitat esmentat.

6.4 Els fonaments semiprofunds

Els fonaments semiprofunds, en particular, els pous de fonamentació, són una alternativa a les lloses i als pilons que s'ha d'estudiar.

La decisió depèn tant de factors econòmics com tècnics, en funció d'aspectes com el volum d'obra que s'ha d'executar, la seva tipologia, les condicions d'accés, el temps necessari per a l'execució de les diverses alternatives, etc.

6.4.1. Els pous de fonamentació

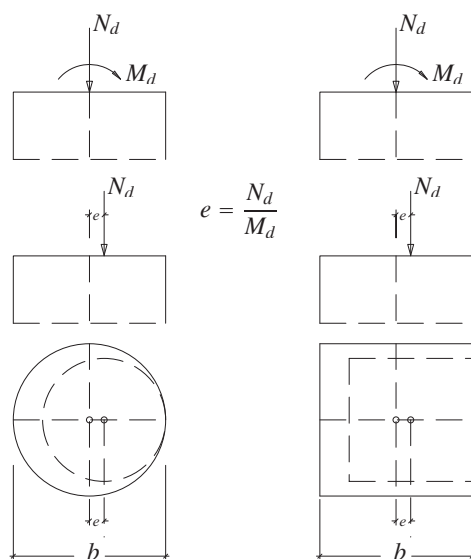
Els **pous** de fonamentació s'utilitzen habitualment quan el ferm se situa a una fondària d'entre 4,00 i 6,00 m respecte al pla de l'edifici i el sòl és de tipus cohesiu.



No són aplicables en sòls granulars, perquè no es mantindria la verticalitat de les parets de l'excavació, com tampoc si el nivell freàtic es troba per damunt de la cota de perforació, per la mateixa raó.

Els pous de fonamentació es poden fer de planta quadrada o circular. A diferència dels pilons, presenten els avantatges següents:

- No es requereix maquinària especial de perforació. Es poden realitzar amb retroexcavadora o, per a fondàries més grans, amb culleres bivalves accionades per excavadores equipades amb un braç allargador (*batilón*).
- Com que la seva dimensió és relativament gran, no és necessari dissenyar riostes per absorbir excentricitats. Aquest és un punt favorable dels pous en l'estimació temps-cost, que permet establir comparacions amb les opcions de llosa o de pilons. L'absorció d'excentricitats es realitza considerant la secció isoperimètrica, com es detalla al gràfic inferior, tant per a un pou de secció circular (a l'esquerra) com de planta quadrada (a la dreta).



Per contra, els pous de fonamentació requereixen un volum més gran de formigó que els pilonatges, encara que aquests poden ser de menys resistència.

Resistència de la secció de formigó

En funció de l'excentricitat e , la resistència Q de la secció de formigó del pou de fonamentació s'obté de les expressions següents, per a pous circulars i quadrats, respectivament:



$$N_d < Q < 0,85\pi \frac{(b-2e)^2}{4} \times f_{cd} \text{ (pous circulars)}$$

$$N_d < Q < 0,85(b-2e)^2 \times f_{cd} \text{ (pous quadrats)}$$

on:

N_d = acció de càlcul del suport b = diàmetre o amplada de la secció de formigó

f_{cd} = resistència de càlcul del formigó.

El factor 0,85 és un coeficient reductor de la resistència del càlcul del formigó per al formigonatge vertical.

Excavació de pous

Per raó de la seva fondària, els pous constitueixen un risc per als operaris. No s'ha de permetre de cap manera que aquests accedeixin a l'interior de l'excavació sense que aquesta estigui apuntalada. I, sempre que sigui possible, els pous s'han d'excavar per procediments mecànics.

La fotografia inferior esquerra mostra l'excavació manual d'un pou de gran diàmetre encamisat. La camisa es va ensorrant progressivament a mesura que els operaris retiren la terra del fons. Aquesta tècnica d'excavació és coneguda amb el nom de "pous indis".

La fotografia central mostra l'excavació mecànica d'un pou de planta quadrada. I, a la fotografia de la dreta, s'observa l'aparició del nivell freàtic durant el procés d'excavació.



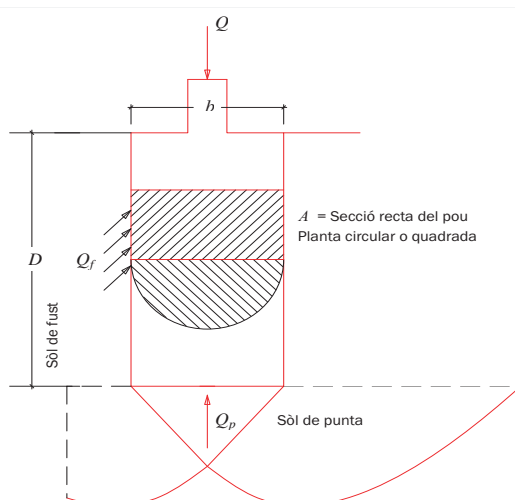
Capacitat de càrrega dels pous de fonamentació

La capacitat de càrrega d'un pou de fonamentació, fins al col·lapse del sòl, s'obté de la suma de la resistència per punta i de la resistència per fust. Aquest valor ha de ser afectat d'un coeficient de seguretat 3 per ser considerat admissible, a efectes pràctics.

$$Q = Q_p + Q_f$$



Al gràfic inferior, es detalla la presència de dos tipus de sòl: el corresponent a la punta i el del fust, amb els seus paràmetres geotècnics respectius.



ϕ	N_c	N_q	N_γ
0	5,14	1,00	0,00
5	6,50	1,55	0,70
10	8,34	2,50	1,60
15	11,00	4,03	2,97
20	14,80	6,67	5,69
25	20,70	11,40	11,17
30	30,10	20,40	22,70
35	46,10	38,50	48,80
40	75,30	78,60	114,00
45	134,00	178,00	300,00

Per al sòl de la punta es té densitat, cohesió i angle de fregament intern, γ , c , ϕ , respectivament. Anàlogament, per al sòl del fust es té γ' , c' , ϕ' .

La resistència per punta, Q_p , s'obté de l'equació de Terzaghi.

$$Q_p = A \left[c \cdot N_c + \gamma' \cdot D \cdot N_q + \gamma \cdot R_m \cdot N_\gamma \right] = A \cdot \sigma_a$$

N_c , N_q i N_γ són valors tabulats, que figuren a la taula superior adjunta.

R_m és un factor de forma. El seu valor per a sabates de secció circular i quadrada és, respectivament, la quarta part del diàmetre, $b/4$, o la quarta part de la base de la sabata, $b/4$.

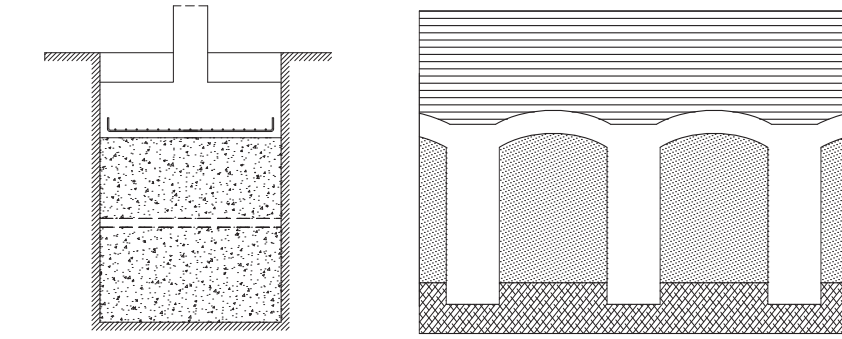
La resistència per fust és el producte de l'àrea lateral del pou per valor del fregament, ζ , entre els materials del sòl i del pou, valor que ha de figurar a l'estudi geotècnic. En el cas dels pilons circulars, es té:

$$Q_f = \pi \cdot d^2 / 4 \cdot h \cdot \tau$$

on d és el diàmetre del pou i h , la fondària.

Disposició constructiva dels armats dels pous de fonamentació

A efectes pràctics, es pot considerar que el formigó en massa omple el pou de fonamentació fins a la fondària que permet construir-hi a sobre una sabata convencional. El formigó en massa es transforma en un transmissor indeformable al sòl, per fregament lateral i per punta, dels esforços del suport, com es detalla al dibuix següent.



6.4.2. Pous i arcs

Fonamentar sobre pous i arcs és una tècnica constructiva que empraven els arquitectes romans, quan el ferm es trobava a alguns metres de la superfície. Es tracta d'una solució enginyosa, deguda a les limitacions tecnològiques dels materials i dels mitjans d'èpoques passades.

En aquest tipus de fonamentació, les parets estructurals de l'edifici es recolzen sobre arcs i aquests sobre pilars que, travessant l'estrat tou, descansen sobre el sòl ferm. El gràfic superior dret en mostra la solució més habitual, si bé els arcs també es construïen invertits. Actualment, aquesta tècnica està totalment en desús per la laboriositat de la seva construcció en relació a les seves prestacions.

→ 7



Fonaments profunds. Tipologies de pilons

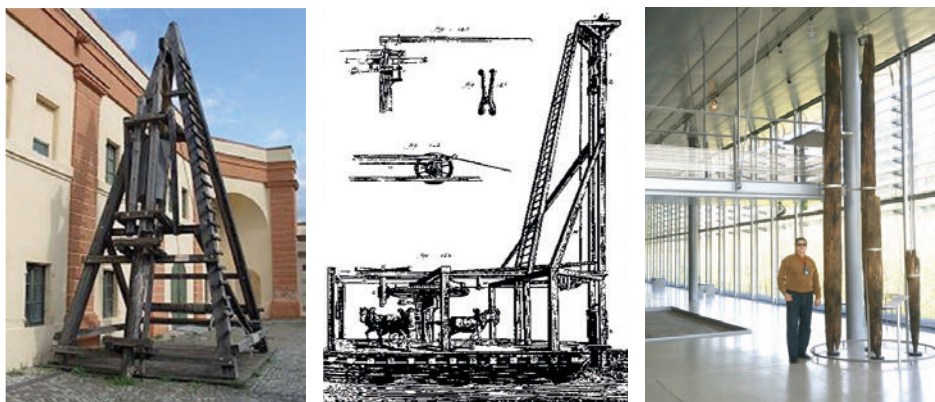
7.1 Els fonaments profunds. Antecedents

El concepte de fonaments profunds s'estableix, de forma empírica, als tractats de construcció, a partir de la relació fondària/amplada de l'element de fonamentació. Si aquesta relació és igual o superior a 8 (CTE), es tracta d'un fonament profund. Els fonaments profunds s'adopten quan el sòl situat sota la cota de la solera de planta baixa –o, si és el cas, del darrer soterrani– no té prou capacitat per absorbir les tensions derivades d'una fonamentació superficial per sabates i traves.

La fonamentació per mitjà de pilons de fusta clavats a cops de martinet en sòls de poca compacitat la descriu Vitruvi i s'aplica profusament a l'època romana. La introducció de pilons molt junts en el sòl provoca la compactació del sòl i, en conseqüència, aquest millora les seves prestacions a la zona pilonada.

Aquest tipus de fonamentació es va utilitzar, de forma empírica, fins a principi del segle XIX. Actualment, els pilons que s'utilitzen a les obres de construcció són, bàsicament, de formigó armat, tant prefabricats com elaborats in situ.

La fotografia esquerra de la pàgina següent correspon a la reproducció d'un martinet romà destinat a clavar pilons de fusta, que s'accionava manualment. El gravat central mostra un equip similar, que s'emprava al segle XVIII, amb l'única diferència que l'elevació de la massa la feien animals de tir. La fotografia dreta, del Museu Romà de la ciutat francesa de Vienne, a la riba del Roine, mostra uns pilons extrets durant els treballs de drenatge del riu que es van fer l'any 1974, durant els quals es van recuperar més de tres-cents peces de fusta de roure, la majoria pilons. La datació mostra que els arbres varen ser abatuts cap al 30 a. de C. Les construccions que sustentaven van estar en servei i es van conservar durant dos-cents anys.



El desenvolupament de la mecànica dels sòls ha estat decisiu per a l'aplicació eficient dels pilons. Els estudis geotècnics, després de la determinació de la estratigrafia, les característiques i els paràmetres geotècnics, recomanen, en les seves conclusions, la realització de pilonatges, si escau, i –cosa més important– permeten realitzar-ne el disseny constructiu per fer front, amb garanties, a les càrregues de servei de l'edifici considerat.

7.2 El treball mecànic dels pilons

Els pilons poden “treballar” –entenent aquest concepte com la forma de transmetre els esforços de l'edifici al sòl– de tres formes:

- Per fricció del fust
- Per punta
- Per punta i per fust

El CTE tan sols reconeix els dos primers models de treball, ja que l'aportació de la punta és relativament reduïda en els sòls de baixa capacitat portant i en els pilons de diàmetres inferiors als 100 cm.

Els pilons que treballen exclusivament per fricció del fust s'anomenen també *pilons flotants*. Aquesta situació es dona en estrats molt potents de sòls de baixa compacitat. En aquests casos, cal construir pilons prou profunds per generar la superfície suficient de contacte i assolir, per fregament, les sol·licitacions del càlcul.

Els pilons que actuen únicament per punta són aquells que descansen sobre un estrat potent de roca o de grava. També s'anomenen *pilons columna*. El guixament no afecta els pilons a partir d'una fondària que es fixa empíricament en un mínim de 6 m o 9 diàmetres del piló, perquè a partir d'aquesta fondària són blocats lateralment pel sòl.

En sòls que, a partir d'una fondària determinada, s'observa una millora substantiva de la capacitat resistent, es pot considerar el treball conjunt per fust i per punta del piló.



L'estimació de la capacitat portant dels pilons es desenvolupa per mitjà de fórmules empíriques o semiempíriques, avalades per l'experiència.

7.3 Petit glossari sobre pilons

A continuació, es detallen una sèrie de conceptes i elements constructius relacionats amb els pilons, que apareixen i s'utilitzen en el llenguatge tècnic relatiu als pilons:

- **Cap.** Zona superior del piló prefabricat, reforçada especialment per rebre els impactes de la massa durant l'operació de clavament (fotografia inferior esquerra).
- **Guaspa.** Part inferior del piló prefabricat, en forma de punta reforçada, per afavorir la seva penetració en el sòl quan es procedeix a l'operació de clavament. La fotografia de la dreta mostra una camisa perduda, associada a una guaspa especialment reforçada, preparada per travessar estrats rocosos de poca potència. Aquest tipus de guaspa es coneix amb el nom de "punta Oslo".



Camisa. Funda de xapa de secció circular, d'un gruix igual o superior a 2 mm, que coincideix amb el diàmetre nominal del piló. Té les aplicacions i utilitats següents:

- Mantenir neta la perforació.
- Conservar estable el perímetre de la perforació.
- Evitar l'entrada d'aigua en la perforació.
- Poder ser recuperada o quedar perduda en la perforació, segons les característiques del sòl.

La fotografia esquerra de la pàgina següent mostra dues camises i un tub tremie dissenyat especialment per abocar, de forma segura, el formigó a l'interior de les camises o directament a les perforacions efectuades al sòl per conformar-hi els pilons.



- **Encep.** Element constructiu de formigó armat que corona un piló de gran diàmetre o que enllaça els caps d'un grup de dos pilons o més (fotografies superiors central i dreta). Té com a funció servir de transició entre l'estructura pròpiament dita i els pilons. A aquest efecte, rep les accions de l'estructura, i ajuda a absorbir els esforços horitzontals i eventuais excentricitats.
- Els pilons de gran diàmetre i els grups de dos pilons, els enceps, necessiten estar vinculats per traves. Els de tres pilons o més no requereixen aquesta mesura, perquè disposen d'un braç mecànic suficient en dues direccions ortogonals per absorbir les excentricitats del suport.
- **Trepà.** Peça d'acer pesant (d'entre tres i cinc tones) en forma de creu, amb les vores d'atac afuades, (fotografia inferior esquerra). Serveix per trencar, amb l'impacte que provoca amb la seva caiguda lliure, les roques dures del fons de l'excavació d'un piló o d'un batatge, per tal de garantir que s'hi encasta. Actualment, el seu efecte també s'assoleix amb l'acció de corones de vídia (fotografia dreta).



- **Escapçat.** Acció que consisteix a eliminar la part superior dels pilons, per tal de sanejar-la. Aquesta acció és comuna als pilons prefabricats i als pilons elaborats *in situ*. En els primers, es fa tant per eliminar la zona del cap mal-mesa pels impactes de la massa, com per ajustar la longitud dels pilons a les necessitats de l'obra, ja que no sempre és possible clavar-hi el piló sencer.

El sanejament dels pilons elaborats *in situ* es fa per retirar el formigó contaminat amb les terres que s'hi acumulen a la part superior, durant el procés de formigonatge.



L'escapçat es realitza amb martells trencadors (fotografia superior esquerra) o amb maquinària especial (fotografia dreta). Durant l'operació d'escapçat, es respecten les armadures per tal que restin vinculades als enceps.

7.4 Criteris per a la utilització de pilons

És recomanable o imprescindible utilitzar pilons, en funció d'aspectes específics de segon nivell, en els casos següents:

- Quan el ferm es troba a fondàries superiors a 4 m respecte del nivell inferior de l'edifici que es vol fonamentar. Entre 4 i 6 m de fondària, és recomanable analitzar l'alternativa dels pous de fonamentació. Per a fondàries superiors als 6 m, la millor opció són els pilons. Es recomana també analitzar l'opció llosa.
- Si cal travessar sòls amb corrents soterranis o amb el freàtic alt.
- Quan hi ha sòls amb forats, com és el cas dels sòls en dissolució, les roques càrstiques (CO_3Ca) o les dolines (SO_4Ca).
- Associats amb lloses d'estanquitat, quan el freàtic queda per damunt del nivell del darrer soterrani en sòls de baixa capacitat portant.
- En sòls amb un alt grau d'expansivitat, per evitar la zona afectada pels canvis d'humitat.

7.5 Classificació general dels pilons

Per tal de facilitar-ne l'estudi, els pilons es poden classificar, a banda de com trameten la càrrega al sòl, de maneres diverses:

- Segons el seu diàmetre
- Segons el seu sistema de construcció



En funció del seu diàmetre, es consideren convencionals els pilons d'entre 30 i 80 cm de diàmetre i, *de gran diàmetre*, els que superen els 100 cm. El límit dels pilons de gran diàmetre se situa actualment en els 250 cm.

Els *micropilons* tenen diàmetres més petits, d'entre 20 i 30 cm, segons les fonts consultades, i formes d'execució i d'armat diferenciades dels pilons de diàmetres superiors.

7.6 Classificació dels pilons segons el sistema de construcció

Considerant el sistema de construcció, s'estableixen dos grans grups de pilons:

- Formigonats *in situ* o CPI (cimentacions profundes *in situ*)
- Prefabricats o CPP (cimentacions profundes prefabricades)

Les nomenclatures CPI i CPP, i els seus derivats, tenen l'origen, respectivament, en les antigues NTE-CPI-77 i NTE-CPE-78. Les seves sigles se segueixen emprant avui per identificar els diferents tipus de pilons que ofereix el mercat

Els pilons CPI. Els pilons formigonats *in situ* són els més utilitzats. Responen a tres tipologies bàsiques:

- **Pilons de desplaçament** (CPI 1 a 3). No hi ha extracció de terres. Es construeixen sempre amb l'auxili de camises.
- **Pilons d'extracció.** Les terres es retiren de la perforació amb l'ús de culleres especials.
 - Encamisats (CPI 4 i 5)
 - No encamisats (CPI 6). La camisa és substituïda per la utilització de llots bentonítics.
- **Pilons perforats** (CPI 7 i 8). Les terres són extretes amb barrines, habitualment contínues. No han de ser encamisats.

Pilons de desplaçament (CPI 1, CPI 2 i CPI 3)

Els pilons de desplaçament es realitzen clavant al sòl, per mitjà d'un martinet, una camisa metàl·lica de secció circular corresponent al diàmetre nominal del piló. És evident que l'aplicació d'aquest tipus de piló se circumscriu a sòls fluïdos, que permeten la penetració de la camisa.

Els diàmetres habituals d'aquests tipus de pilons són 30, 35, 45, 55 i 65 cm. La paret de la camisa ha de tenir un gruix superior a 2 mm.

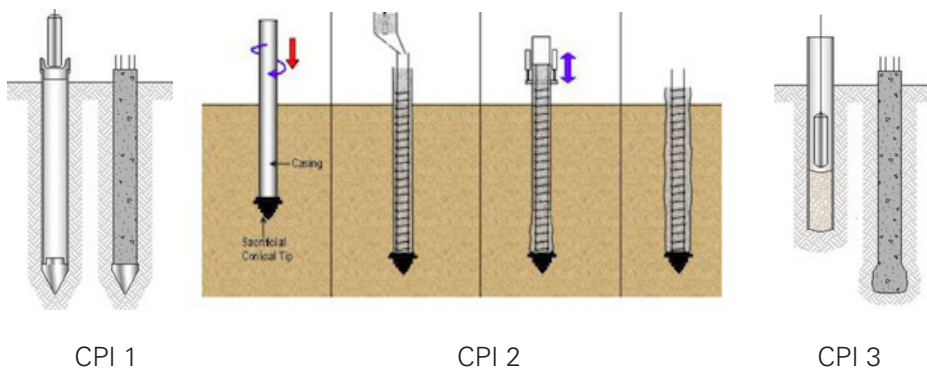
Durant la construcció, no es produeix extracció de terres. Aquest fet és positiu, tant perquè suposa una millora per al sòl com perquè es minimitzen els moviments de terres. Tanmateix, no es pot apreciar directament la naturalesa del sòl que s'està travessant.



El procés de clavament genera sorolls i vibracions, raó per la qual en àrees urbanes densament poblades o a prop d'edificis en estat precari, des del punt de vista estructural, se'n pot restringir l'ús.

Sempre que les condicions del sòl ho permetin, s'ha de procurar recuperar la camisa, tant per raó d'economia com perquè la superfície de contacte entre el sòl i el formigó és substantivament superior a la del sòl amb la camisa. Així, a igualtat de longitud, s'incrementa la capacitat portant del piló aproximadament un 20 %.

La camisa pot tenir punta i tapa, o bé un tap a la punta realitzat amb formigó molt sec. En el primer cas, la camisa es pot perdre (pilons de tipus CPI 1) o bé es pot recuperar (pilons de tipus CPI 2). Si el clavament de la camisa es fa percutint sobre el tap de graves, és impossible recuperar la camisa (pilons de tipus CPI 3).



El conjunt format per camisa, punta i tapa, o per camisa i tap de formigó, es clava fins a arribar a l'estrat ferm o al rebuig. La capacitat portant del piló es verifica durant l'operació de clavament, fins al rebuig, segons el nombre de cops necessaris de la massa per aconseguir una penetració determinada.

A l'efecte d'establir-ne la capacitat portant, els pilons de tipus CPI 1 i CPI 3 es poden considerar prefabricats, raó per la qual els és aplicable una de les moltes fórmules dinàmiques que es poden trobar a la bibliografia tècnica.

A tall d'exemple, es proposa l'anomenada *fórmula empírica holandesa* per determinar la capacitat portant d'un pilot clavat:

$$N = \frac{m \cdot h}{6 \cdot r} \cdot \frac{m}{m + p}$$

on:

- N = capacitat portant del pilot, expressada en tones
- m = pes de la massa, en tones
- h = altura de caiguda de la massa, en metres
- r = rebuig = 20/n (valor al voltant de 0,1)
- n = nombre de cops necessaris per fer avançar el piló 20 cm
- p = pes de la camisa més el tap de formigó, o dels taps de cap i punta, en tones



El valor 6 correspon al coeficient de seguretat que s'emptra habitualment. Es pretén cobrir l'ampli grau d'incertesa que el sistema pot generar.

Un cop conclòs el procés de clavament de la camisa, s'hi introduceix l'armadura. Aquesta ha de tenir una longitud mínima equivalent al més gran dels valors següents: 6 m o 9 diàmetres del piló. Com que el sòl envolta el piló, a partir de la fondària indicada no és imprescindible que aquest estigui armat en tota la seva longitud.

Per formigonar pilons de tipus CPI 1 i CPI 2, s'utilitza formigó de consistència fluida, d'una resistència característica, f_{ck} , igual o superior a 25 N/mm². Si es pretén recuperar la camisa (pilons de tipus CPI 2) perquè les condicions del sòl ho permeten, cal considerar que la guaspa es perd.

Durant l'extracció de la camisa, cal procurar que el formigó quedi sempre almenys 3 m per damunt de la seva boca, per tal d'evitar la contaminació del formigó i garantir la continuïtat del fust. Els cops produïts per la massa sobre la camisa durant l'extracció faciliten el vibrat del formigó.

En els pilons de tipus CPI 3, un cop acabat el procés de clavament i d'introducció de l'armadura, s'aboca per tongades el formigó de consistència seca o plàstica a l'interior de la camisa. Allí és piconat amb una massa que es desplaça per l'interior de la gàbia d'armadura. Es garanteix així un formigonatge correcte i la continuïtat estructural del piló.

Pilons d'extracció encamisats (CPI 4 i CPI 5)

Els pilons d'extracció es realitzen, per mitjà de màquines perforadores especialitzades, en sòls que presenten un grau de consistència tal que no es poden perforar per mitjà del desplaçament provocat per l'impacte d'una massa o quan cal treballar sense produir gaires vibracions ni sorolls.

L'extracció de les terres es duu a terme amb l'ajuda de culleres adaptades a les característiques del sòl. En sòls cohesius, s'utilitzen culleres helicoidals. En aquest tipus de cullera, es poden disposar puntes de vídia per travessar estrats de sòls molt durs, com ara margues o llicorelles.

Els encastaments de les puntes dels pilons en sòls molt durs es realitzen per mitjà de trepans o de corones de vídia. Si es tracta de sòls solts o amb la presència del nivell freàtic, s'utilitzen culleres bivalves. En tots els casos, abans de formigonar s'ha de tenir cura de netejar el fons de l'excavació.

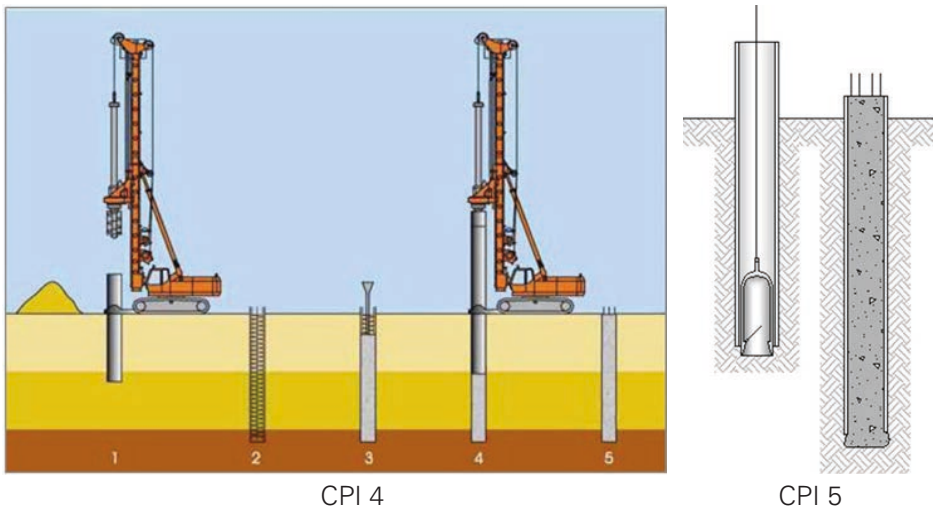
El sistema d'extracció permet realitzar pilons de diàmetre superior als de desplaçament. Les mesures habituals responen a la sèrie 45, 55, 65 i 85 cm de diàmetre. Els pilons de 100, 125 i 150 cm són considerats de gran diàmetre. Amb la maquinària disponible actualment, es poden fer pilons d'extracció de fins a 250 cm de diàmetre.

En els pilons de gran diàmetre, per facilitar la introducció i, si escau, l'extracció de les camises, s'utilitza un aparell hidràulic, acoblat a la perforadora, anomenat oscil·lador. Disposa d'unes mordasses que abracen la camisa i ajuden a orientar-la.



Els pilons d'extracció es perforen sempre amb camisa. Aquesta es desplaça per gravetat cap al fons de la perforació a mesura que es van extraient les terres. La verticalitat de l'excavació es garanteix amb el sistema de guiatge de la cullera. L'operari estableix la verticalitat de la màquina i la controla des de la cabina.

Els pilons de tipus CPI 4 es caracteritzen perquè tenen la intubació recuperable, mentre que en els CPI 5 la intubació resta perduda. Acabada la perforació, es col·loca l'armadura. Ha de tenir, igual que en els pilons de desplaçament, una longitud mínima corresponent al més gran dels valors següents: 6 m o 9 diàmetres del piló. Cal recordar que, a partir de la fondària esmentada, el sòl evita el guerdament del piló.



Procés d'execució dels pilons de tipus CPI 4:

- Perforació amb camisa
- Col·locació d'armadures
- Formigonatge amb tub *tremie*
- Extracció de la camisa
- Piló acabat

Les fotografies inferiors dreta i central mostren alguns dels models de culleres més habituals per perforar pilons d'extracció. A la dreta, es mostra una corona de perforació.





El formigonatge dels pilons de tipus CIP 4 i CPI 5 es realitza amb formigó de consistència fluida, d'una resistència característica, f_{ck} , igual o superior a 25 N/mm². En el formigonatge dels pilons CPI 4, s'ha de mantenir el nivell del formigó almenys 3 m per damunt de la boca inferior de la camisa, per tal d'evitar la contaminació del formigó i garantir la continuïtat estructural del piló.

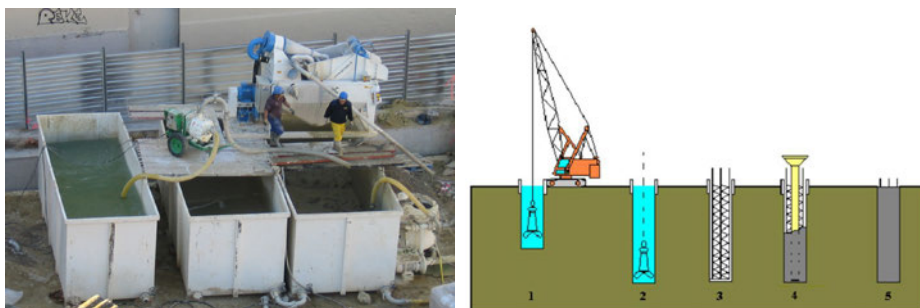
Pilons perforats (CPI 6, CPI 7 i CPI 8)

Els pilons perforats són aquells en què l'extracció de les terres es realitza sense encamisar.

Comprèn tres tipus, anomenats CPI 6, CPI 7 i CPI 8. Tots s'han de realitzar amb formigó de resistència característica, f_{ck} , igual o superior a 25 N/mm² i diàmetre màxim de l'àrid igual o inferior a 20 mm. La consistència del formigó ha de ser fluida, d'acord amb les condicions de formigonatge.

Els pilons de tipus CPI 6 es perforen amb culleres bivalves i amb l'ajut de llots de bentonita (1). Els llots de bentonita, per les seves propietats expansives i tixotròpiques, ajuden a contenir les parets i alhora eviten possibles sifonats.

La fotografia inferior esquerra mostra una instal·lació per a la producció de llots de bentonita. Està formada pels dipòsits, l'agitador, el decantador de sorres i l'equip de bombes.



El gràfic superior dret conté les fases per a la realització d'un piló de tipus CPI 6.

Conclusa la perforació, es canvia el llot contaminat per llot net, després de netejar el fons del piló (2). S'hi introdueixen les armadures (3) i es formigona la perforació amb formigó de consistència fluida, per mitjà d'un tub tremie, amb l'extrem inferior col·locat pràcticament al fons de l'excavació.

El *tremie* es va elevant a mesura que es formigona. En tot moment, s'ha de tenir cura de mantenir la seva boca 4 m per sota del nivell de formigó per evitar contaminacions, i garantir el formigonatge correcte i la continuïtat del piló (4).

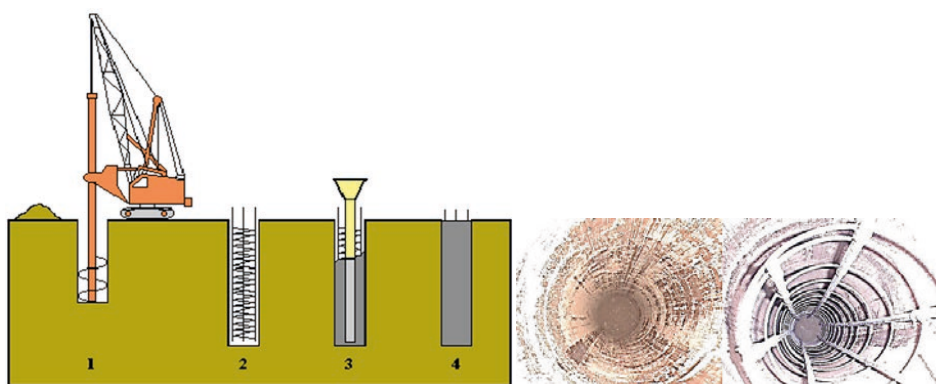
Quan es retira el *tremie*, el piló queda acabat (5).



Respecte a la longitud de les armadures, és vàlid, per a tot el grup, el criteri establert per a les tipologies precedents, és a dir, una llargària mínima corresponent al més gran dels valors següents: 6 m o 9 diàmetres del piló.

Els diàmetres habituals són 45, 55, 65, 85, 100 i 125 cm, si bé la maquinària actual permet realitzar pilons de diàmetres més grans.

Els pilons de tipus CPI 7 es realitzen completament en sec, com es mostra al gràfic inferior. Són aplicables en sòls que tinguin la cohesió suficient per permetre l'operació de perforació, habitualment amb barrines contínues de la longitud del piló, sense que es produeixin desprendiments substantius de les parets. Durant l'operació d'extracció, és possible reconèixer la naturalesa del sòl i contrastar-la amb l'obtinguda de l'estudi geotècnic.



Acabada la perforació (1), es col·locaran les armadures (2). Per la zona central, s'introduirà un tub *tremie* (3), que s'anirà elevant a mesura que el formigonatge vagi avançant. Es procurarà mantenir la seva boca 3 m per sota del nivell del formigó, per tal d'evitar la contaminació del formigó i garantir la continuïtat del piló. Un cop retirat el tub *tremie*, el piló quedarà acabat (4).

La fotografia superior dreta mostra la perforació i la col·locació d'armadures d'un piló CPI 7 de 45 cm de diàmetre. S'hi pot apreciar la consistència excel·lent del sòl travessat.

Els diàmetres propis dels pilons de tipus CPI 7 són 35, 45, 55 i 65 cm. Cal tenir una cura especial en formigonar pilons de 35 cm de diàmetre: l'espai que queda a l'interior de la armadura és molt reduït i és fàcil enganxar el tub amb l'armadura i provocar-ne el desplaçament.

En els pilons de tipus CPI 8, la perforació es realitza, igual que en els CPI 7, per mitjà d'una barrina helicoidal de la longitud del piló (gràfic esquerra de la pàgina següent) (1). Aquesta disposa d'un nucli foradat a través del qual s'injecta contínuament formigó de consistència molt fluïda. A mesura que la barrina es va retirant, s'omple la perforació (2). Cal que aquesta estigui submergida almenys dos diàmetres en el formigó, per tal d'evitar-ne la contaminació i garantir la continuïtat del piló.



En acabar l'operació de formigonatge, aprofitant la fluïdesa del formigó, s'hi introdueix l'armadura, pressionant-la, si cal, amb la pròpia perforadora o amb la cullera d'una excavadora auxiliar (3) (fotografia inferior dreta). El fet d'introduir l'armadura després del formigonatge limita la longitud d'aquesta a 10-12 m.



Si bé els models inicials de barrina tenien dificultats per travessar estrats intermedis durs, la incorporació de puntes de vídia al frontal de les barrines i la utilització de maquinària més potent han resolt el problema, en bona mesura.

Es poden travessar estrats potents de llicorella o de margues semicompactes, i abordar estrats lleugers de roques molt dures i abrasives com el granit. Evidentment, els costos de la perforació es disparen quan cal aplicar vídia, perquè el rendiment de la perforació baixa notablement: en comptes de minuts, es pot trigar hores a fer la perforació d'un piló.

Els diàmetres més utilitzats són els de 35, 45, 55 i 65 cm. Excepcionalment, es realitzen amb aquesta tècnica pilons de 85 i de 100 cm.

7.7 Els pilons prefabricats o CPP

Els pilons prefabricats es produeixen en plantes fixes i es transporten a l'obra fragmentats. Aquest fet permet emprar formigons d'una qualitat molt superior als que s'utilitzen en la confecció dels pilons prefabricats *in situ*. Poden ser de secció quadrada o hexagonal. La longitud dels trams se situa al voltant dels 6 m.

Cal controlar la data de fabricació per tal de garantir un procés de curació del formigó de 28 dies, com a mínim. Pel que fa als criteris d'acceptació o rebuig, no s'admetran pilons amb fissures superiors a 0,15 mm o trams que presentin una fletxa superior a 1/300 de la seva longitud.

Les unions entre els trams es realitzen per mitjà d'encontres de tipus caixa i espiga o de baioneta. La continuïtat del piló es garanteix amb passadors d'acer.

El clavament dels pilons en el sòl es realitza amb l'ajuda de martinets hidràulics (fotografia de la pàgina següent esquerra), que disposen d'una guia amb recorregut suficient per admetre els trams del piló. Els martinets colpegen sobre el cap del piló, que, en aquesta zona, com també en els encontres entre trams, es



troba convenientment reforçat. A la fotografia de la dreta, es mostra el sistema de continuïtat per enllaçar les seccions del piló.



Els pilons prefabricats, segons la manera com són clavats, formen part del grup de pilons de desplaçament. A mesura que es van clavant, relativament junts, es compacta el sòl. Aquest fenomen, anomenat *efecte de grup*, implica a vegades que s'han d'escapçar diferents longituds, perquè alguns pilons d'un mateix encep no poder assolir més penetració en el sòl.

A fi d'establir la capacitat portant dels pilons prefabricats, s'ha d'aplicar la fórmula holandesa, que ja s'ha indicat a propòsit dels pilons de desplaçament.

Els pilons prefabricats tenen, per raó del seu sistema de producció, les cares molt llises. Aquest fet és un avantatge quan es tracta de pilonar en sòls sobre els quals es pot produir un efecte de fregament negatiu.

El fregament negatiu es produeix quan les capes superficials del sòl no estan consolidades o bé quan es tracta de sòls expansius en procés de dessecament. En ambdós casos, el sòl en contacte amb el piló té tendència a arrossegar-lo en sentit descendent. Com més rugós sigui el piló, més gran serà la superfície de contacte i, per tant, més gran l'efecte del fregament negatiu.

En tractar-se de peces prefabricades, els recobriments es poden reduir a 2,5 cm, en comptes dels 4 cm que necessiten, com a mínim, els construïts *in situ*. S'incrementa així el braç mecànic, a igualtat de diàmetre equivalent. Per diàmetre equivalent, s'entén el del cercle de superfície igual a la secció recta del piló.

La capacitat de penetració d'aquest tipus de piló en sòls molt compactes és limitada, perquè la repetició d'impactes sense penetració pot produir fissures en el formigó.

Per tal de facilitar la penetració en aquest tipus de sòls, es pot disposar una guaspa d'acer anomenada "punta de tipus Oslo", com s'ha exposat en fer referència als pilons de desplaçament formigonats *in situ*.



7.8. Aspectes de seguretat

La realització de pilons requereix emprar maquinària pesant, la manipulació i el manteniment de la qual ha d'estar en mans de personal especialitzat. És necessari senyalitzar i protegir tant les zones de treball com els espais afectats pel pas de càrregues suspeses. Cal assegurar que no hi ha obstacles aeris que puguin dificultar l'acció de les màquines.

Diàriament, abans de començar els treballs, s'ha de revisar l'estat dels aparells d'elevació i dels dispositius de manipulació.

El transport suspès de les armadures (fotografia inferior esquerra) s'ha de realitzar amb eslingues equipades amb ganxos i subjeccions de seguretat. La sustentació s'ha de dur a terme garantint l'estabilitat de l'element transportat.



Els treballadors encarregats de la manipulació, a més de tenir una formació específica, han d'anar equipats amb casc, guants, armilla reflectora i calçat de seguretat (fotografia superior dreta).

La instal·lació elèctrica auxiliar ha de disposar de la posada a terra corresponent. I s'han de seguir les prescripcions del REBT.

Caldrà suspendre els treballs d'execució de pilons en cas de pluja intensa, neu o vent superior als 50 km/h.

7.9 Resistència d'un piló sotmès a compressió centrada

Per determinar la resistència d'un piló a compressió centrada, cal tenir en compte que el sòl exerceix pressió sobre el seu perímetre i impedeix que aquest es guerxi. La comprovació del piló és, doncs, anàloga a la d'un pilar sotmès a compressió centrada.

S'hi apliquen coeficients reductors, segons les característiques i les condicions de formigonatge, d'acord amb les expressions:



$$N_u > N_d = 0,20 \cdot f_{ck} \cdot A_c + 0,35 \cdot A_s \cdot f_{yk}$$

$$N_u > N_d = 0,20 \cdot f_{ck} \cdot A_c + 0,32 \cdot A_s \cdot f_{yk}$$

La primera correspon a un formigonatge en sec i sense tub, i la segona, a un formigonatge en medi líquid, en què:

N_u = capacitat resistent del piló

N_d = valor de càlcul de la resistència del piló a compressió
 f_{ck} = resistència característica del formigó del piló (el valor $0,20 f_{ck}$ serà sempre inferior a $4,8 \text{ N/mm}^2$)

A_c = secció del piló

A_s = secció de les armadures longitudinals del piló

f_{yk} = tensió de càlcul de l'armadura longitudinal del piló (el valor $0,35 f_{yk}$ serà sempre inferior a 130 N/mm^2)

Els pilons estan sotmesos a compressió, raó per la qual els són aplicables les limitacions normatives pròpies dels elements comprimits. El valor màxim de càlcul de la tensió de l'acer comprimit està limitat normativament per l'EHE a $0,002$ de E_s (mòdul de deformació de l'acer), és a dir:

$$f_{yd} < 0,002 \cdot 2 \cdot 10^5 = 400 \text{ N/mm}^2$$

Per tant, no té sentit utilitzar acer B-500S per a les armadures dels pilons, llevat que es faci com a criteri per evitar errors en la utilització de les barres d'armadura en el conjunt de l'obra.

La quantia mecànica mínima de l'armadura longitudinal dels pilons respon a l'expressió:

$$A_s \cdot f_{yd} > 0,1 \cdot N_d$$

La quantia mecànica màxima de l'armadura longitudinal convé limitar-la a:

$$A_s \cdot f_{yd} < 0,6 \cdot f_{cd} \cdot A_c$$

7.10 Criteris de disseny constructiu per a la formació d'armadures de pilons formigonats *in situ*

El disseny correcte de les armadures dels pilons ha de respondre als criteris següents:

- El diàmetre mínim de l'armadura longitudinal no ha de ser inferior a 12 mm . El nombre mínim de rodons que conformen l'armadura longitudinal ha de ser igual o superior a 5 , i és recomanable utilitzar-ne 6 o més.



- La separació entre dues barres consecutives ha de ser inferior a 200 mm.
- El diàmetre dels estreps ha de ser igual o superior a la quarta part del de l'armadura principal, amb un mínim de 6 mm.
- Els estreps s'han de desenvolupar en espiral, amb un pas inferior o igual a 15 diàmetres de l'armadura longitudinal.
- Els recobriments, de 4 cm com a mínim, s'han de garantir per mitjà de separadors fixats a l'armadura principal.

Les fotografies següents mostren armadures per a pilons realitzades d'acord amb els criteris indicats. A la fotografia de la dreta, es poden observar dos ganxos previstos per facilitar el transport i la col·locació en la perforació de les armadures d'un piló.



Diàmetres i armats dels pilons. A la taula adjunta, es detallen els diàmetres i les característiques dels armats usuals, longitudinals i transversals, dels pilons realitzats *in situ*:

	DIAMETRE DEL PILÓ, cm.							
ARMADURA LONGITUDINAL								
	30	35	45	55	65	85	100	125
Nombre de barres.	5	5	6	7	6	7	9	10
Diàmetre de les armadures, mm.	12	12	12	12	16	16	16	20
ARMADURA TRANSVERSAL								
Pas de l'hèlix que forma el cercol, cm.	18	18	18	18	20	20	25	25
Diàmetre dels cercols, mm.	6	6	6	6	6	8	8	8

7.11 Protocol per al disseny d'una fonamentació realitzada amb pilons (fonamentació profunda)

El protocol de disseny d'una fonamentació profunda parteix, com en tots els tipus de fonaments en general, de la confluència de requeriments entre el sòl, les condicions d'entorn i les característiques de l'estructura.



El procés de disseny d'una fonamentació profunda sovint s'inicia després de desestimar la possibilitat d'una fonamentació superficial amb sabates. Quan aquest tipus de fonamentació supera el 50 % de la superfície de la planta en qüestió, les alternatives són les lloses de fonamentació, els pilons o la utilització conjunta dels dos sistemes, si el nivell freàtic és alt.

Les característiques estratigràfiques del sòl i l'ordre de magnitud de les càrregues de l'estructura determinen l'elecció de la fondària a la qual s'ha de fonamentar.

És convenient classificar, en funció de les seves càrregues de servei, els suports en un nombre limitat de tipus. L'objectiu és obvi: **racionalitzar l'execució** del sistema de pilons.

Paral·lelament, les condicions de l'entorn i dels estrats que han de ser travessats pels pilons, amb la presència o no d'aigua, determinen **l'elecció del tipus** més idoni de piló per al conjunt de requeriments expressats.

Amb les dades precedents, es fa el **predimensionament** dels pilons necessaris per a cada tipus de suport, tenint en compte les resistències per punta i/o per fust.

El predimensionament té per objecte establir, per a cada tipus de suport, com a base de les comprovacions posteriors, els aspectes següents:

- **El nombre de pilons.** El nombre de pilons per a cada tipus de suport s'estableix en funció de l'ordre de magnitud de les càrregues que s'han de suportar i de criteris d'uniformitat de diàmetres en el conjunt de l'obra.
- **La disposició.** La tendència actual és, per raons de temps d'execució i d'economia, reduir el nombre de pilons per encep a base d'incrementar-ne el diàmetre. Un encep s'hauria de poder resoldre amb un màxim de 4 pilons.
- **Els pilons de gran diàmetre,** igual o superior a 100 cm, poden absorbir en solitari un suport, sempre que disposin de traves en dos sentits ortogonals. Els enceps de dos pilons necessiten traves en la direcció ortogonal a l'eix que els uneix.
- **Els enceps de tres, quatre o més pilons no necessiten traves.** La funció de les traves és absorbir eventuais excentricitats del suport. La geometria dels enceps de tres pilons o més està capacitada per absorbir aquestes excentricitats.
- **El diàmetre dels pilons.** Igual que el nombre de pilons, l'elecció del seu diàmetre respon a criteris de racionalitat constructiva que es desprenen de l'anàlisi del conjunt de les necessitats estructurals dels fonaments de l'obra. Cal considerar, des de les primeres fases d'execució, la logística relativa als espais de maniobra i la disponibilitat de zones d'abassegament.



- **La separació entre els eixos dels pilons.** Si la separació entre els eixos dels pilons que treballen per fust és igual o superior a 3 diàmetres, no es considera l'efecte de grup. Si treballen per punta, la separació es pot reduir a dos diàmetres. En les agrupacions de més de quatre pilons, situats a distàncies inferiors, cal considerar que es produeix una interacció entre ells que en redueix l'eficiència. En el cas límit dels pilons tangents, és a dir, quan la distància entre els eixos és igual a un diàmetre, la capacitat portant efectiva de cada piló del grup és del 70 %. Per a les situacions intermèdies, d'entre 1 i 3 diàmetres, l'eficiència percentual dels pilons es determina interpolant linealment.
- **La longitud del piló.** La longitud del piló ve determinada per l'estratigrafia del sòl. Aquesta ha de quedar reflectida a l'estudi geotècnic, amb un grau de precisió suficient per establir una previsió correcta de la fondària o de les fondàries que hauran d'assolir els pilons. Si hi ha possibilitat de fregament negatiu, caldrà descomptar, com a portant, la zona del fust que determini la secció estratigràfica.

Comprovacions. A partir del predimensionament, es realitzen les comprovacions següents:

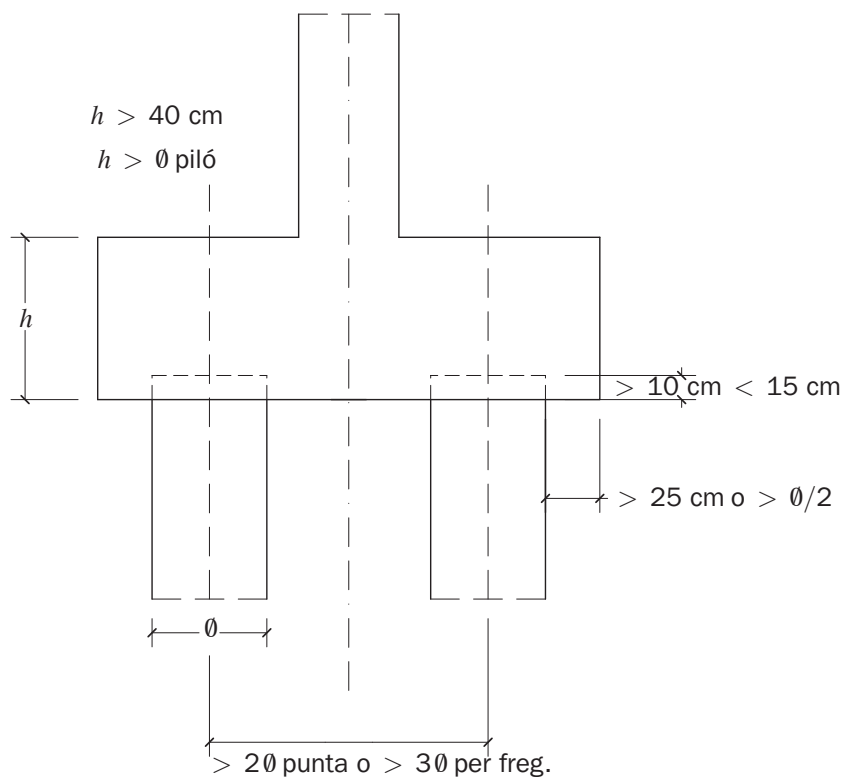
- **Capacitat portant,** estimada per a cada grup de pilons assignat a cada suport tipus. Aquesta capacitat portant ha de ser superior a la càrrega de servei de cada suport tipus, majorada. A la càrrega de servei, cal incloure-hi:
- **La càrrega tramesa per l'estructura,** d'acord amb el que especifica el DB-SE-AE "Accions a l'edificació", llibre 2 del CTE.
- **El pes propi dels enceps i de les traves.** Habitualment, es considera que la càrrega de servei s'incrementa un 7-10 % respecte de la resultant de l'estimació dels esforços gravitatoris. No es pot considerar la contribució dels enceps i de les traves en l'absorció de càrregues.

Els valors majorats només s'apliquen a verificar els elements estructurals de formigó, no a la fonamentació.

7.12 Consideracions de caràcter constructiu per als enceps

A l'hora de dissenyar i executar enceps, s'han de seguir les consideracions següents de caràcter constructiu, que es detallen a la figura que hi ha a continuació:

- El cantell mínim d'un encep ha de ser igual o superior a 40 cm i sempre igual o superior al diàmetre del piló. Cal garantir la longitud d'ancoratge de les armadures del pilar que descansa sobre l'encep.
- La distància entre el perímetre del piló i qualsevol punt del perímetre de l'encep ha de ser, en els llocs més desfavorables, de 25 cm com a mínim o la meitat del diàmetre del piló. Es garanteix així la possibilitat de prolongar les armadures de tracció i disposar d'espai per col·locar les armadures envelopants.



- La separació mínima recomanable entre els eixos dels pilons és:
 - Dues vegades el seu diàmetre, si treballen per punta
 - Tres vegades el seu diàmetre, si treballen per fust
- Un cop escapat el piló, aquest ha de penetrar a l'encep no menys de 10 cm ni més de 15 cm.

El disseny constructiu de les armadures dels enceps habitualment es fa amb geometries que garanteixen la resistència a punxonament de les seccions emprant el mètode de bieles i tirants.



La contenció de terres

8.1 Introducció

Els talussos de terres generen empentes. Aquest fet es pot apreciar, en la vida quotidiana, amb la multitud de recursos tècnics que es dediquen a estabilitzar els talussos per garantir el funcionament de les infraestructures, ja siguin carreteres o línies de ferrocarril, o en la construcció sota rasant de vasos d'edificació, per tal de disposar d'espai per a usos tècnics o per emmagatzemar-hi vehicles.

La fotografia inferior esquerra mostra la contenció d'un talús que recau sobre una carretera, realitzada per mitjà de gabions. La fotografia dreta correspon a la fallida d'un mur per efecte de l'acumulació d'aigua de pluja a l'intradós.



La contenció de terres requereix el coneixement previ del sòl per mitjà d'un estudi geotècnic específic. També cal disposar d'altres dades, com l'alçada i les circumstàncies específiques del mur i del seu entorn. Tots ells són paràmetres que defineixen un valor numèric determinat de l'empenta que es genera a cada metre lineal del talús que es vol contenir.



Conegut el valor de servei de l'empenta, es pot passar a la fase següent de la resolució del problema. Es tracta de respondre les preguntes bàsiques següents:

- Quin o quins materials s'hi poden emprar?
- Quines tipologies constructives estan en condicions de donar resposta als requeriments mecànics i constructius?
- D'entre les diferents opcions, quina és la més racional i per què?

La contenció de terres ha estat una necessitat històrica de primer ordre per donar resposta a qüestions agrícoles (fotografia inferior esquerra, en què es poden apreciar terrasses de cultiu), de comunicacions (fotografia central, que mostra la contenció d'un talús d'una autopista amb terra armada) o de defensa, a la qual s'han destinat grans esforços.

La fotografia dreta correspon al castell de Coca (Segovia). El seu fossat està resolt amb murs de contenció que salven el desnivell respecte dels plans circumdants.

Fruit dels models de sistemes de contenció de terres desenvolupats al llarg de la història, avui existeix un ventall ampli de solucions tipològiques.



En l'elecció del sistema de contenció, han de prevaldre les solucions constructives que, sense afectar les prestacions, tinguin menys impacte ambiental.

8.2 Tipologies dels sistemes de contenció de terres

A continuació, s'exposen les tipologies més habituals dels sistemes constructius dissenyats per a la contenció de terres:

- **Contencions per gravetat sense flexió**
 - Esculleres, gabions, terra armada i murs de fàbrica
- **Contencions per gravetat flectades**
 - Murs en mènula; en L, en L invertida i en T; murs amb contraforts; murs amb safates; solucions prefabricades
- **Contencions subjectades**
 - Murs encofrats subjectats en cap
 - Recalçaments
 - Corones de batatges en fase descendent



- Murs pantalla autoestables
- Murs pantalla ancorats isostàticament
- Murs pantalla amb ancoratges hiperestàtics
- Barreres i pantalles de pilons

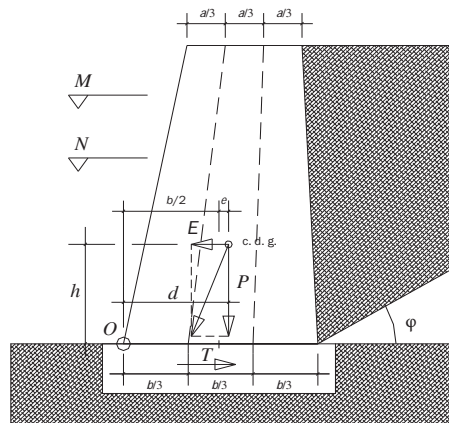
Les diferents tipologies que es presenten s'exposen als apartats següents.

Contencions per gravetat. Conceptes generals

Les contencions per gravetat engloben tant les realitzades amb materials de construcció sense capacitat de treball a flexió com aquelles elaborades amb materials amb capacitat a flexió, com és el cas del formigó armat.

Els sistemes de contenció per gravetat es fonamenten en el seu pes i en la seva massa. La cohesió i/o la fricció interna de les fàbriques que els conformen garanteixen l'estabilitat, enfront de les empentes generades per les terres i altres sobrecàrregues, sempre que la geometria i el pes de la secció siguin els correctes. En el cas de les contencions per gravetat resoltes amb materials no resistents a la flexió, s'ha de garantir que només es produiran esforços de compressió, en totes les seves seccions horitzontals. Aquesta exigència comporta que els murs de gravetat siguin molt gruixuts, comparats amb les solucions flectades.

La resultant generada pel pes del mur i l'empenta ha de quedar inclosa en el terç central de la base, com es mostra al gràfic següent. Per aquest motiu, en els murs sense capacitat de flexió, són freqüents les seccions de caràcter trapezoïdal.



DIAGRAMES DE CONTACTE AMB EL SÒL

Compatible amb murs sense flexió.



Límit de compatibilitat amb murs sense flexió.



Només compatibles amb murs flectats.



Equilibri estricte al lliscament.

$$T = P \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Equilibri estricte al bolc.

Moments respecte de O .

$$E \cdot h = P \cdot d$$

Tensions de contacte amb el sòl.

$$\sigma = \frac{P}{b \cdot 1} \cdot \left(1 \pm \frac{6 \cdot e}{b} \right)$$



Als gràfics situats sota la secció del mur, es mostren tres possibilitats de tensions, en funció de l'excentricitat de la resultant respecte del terç central de la base.

Al gràfic primer, la resultant queda a l'interior del terç central. Sota la base de la sabata, es produeixen una tensió màxima i una tensió mínima.

El segon mostra un cas límit en què la resultant passa juntament pel terç central, raó per la qual la tensió mínima és zero.

Al tercer, l'excentricitat és encara més gran, de manera que es produeix una tensió negativa. El que succeeix en realitat és que no s'aprofita tota la secció de la sabata, perquè el sòl no té capacitat per succionar el mur. Caldria redissenyar la secció del mur per tal de col·locar la situació d'equilibri del mur en el primer supòsit.

Contencions per gravetat sense flexió. Esculleres, gabions, terra armada i murs de fàbrica

L'ordre d'exposició dels diferents sistemes de contenció de terres per gravetat sense flexió va de les solucions més senzilles a les més complexes. Esculleres, gabions i terra armada comparteixen el fet que estan fets "en sec", és a dir, sense aglomerants.

Esculleres. Les esculleres deriven de les construccions tradicionals que es feien manualment en sec per aconseguir zones planes per al cultiu en aquells indrets en què l'orografia difícil ho impedia (fotografia inferior esquerra). Els murs realitzats així, amb els mínims recursos, són fruit de l'experiència, raó per la qual són duradors i permeten el drenatge natural de les aigües.

El treball manual limita tant la mida de les peces com l'altura de la contenció. L'experiència acumulada al llarg dels segles ha permès aplicar avui els mateixos principis, auxiliats per la geotècnia, a procediments de construcció amb màquines de gran potència i amb la capacitat de manipular pedres procedents de voladures, de pesos compresos entre els 300 i els 3.000 kg (fotografia de la dreta).



És evident el baix impacte ambiental de les esculleres, enfront dels murs de contenció realitzats amb formigó armat.

Un metre cúbic de formigó posat en obra costa uns 90,00 €, als quals cal afegir el cost de l'acer, d'uns 1,35 €/kg.



Si es considera una quantia d'acer d'uns 60 kg/m^3 , això suposa un total de 81,00 € més. Finalment, cal afegir el cost de l'encofrat, d'uns $25,00 \text{ €/m}^2$ a una cara o $35,00 \text{ €/m}^2$ a dues cares.

Amb les dades precedents, en el cas millor una tona de mur de contenció de formigó armat costa 101,73 €, mentre que un metre quadrat d'escullera amb la mateixa capacitat de contenció costa 76,30 €.

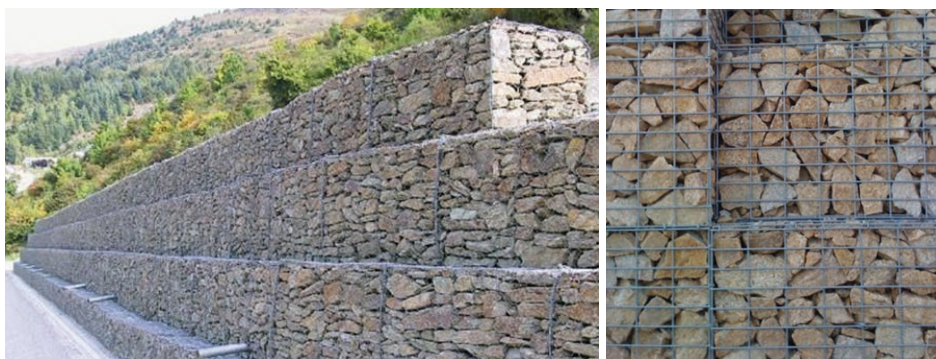
A títol orientatiu, el preu de les esculleres es calcula habitualment en €/tm. Oscil·la entre els 4,50 €/tm per a la col·locació de la pedra i els 10,00 €/m² per a la superfície que cal cobrir.

Els preus indicats en els supòsits són aproximats i variables. Depenen del preu del transport de les roques des de la pedrera i del preu del combustible de la maquinària en el moment de construir l'escullera.

Si es fa una comparativa entre procediments; per tona, el mur de formigó armat surt 22,60 vegades més car. Per superfície coberta –que, en definitiva, és el que interessa–, la relació baixa a 7,63, valor suficientment substantiu per ser considerat sense entrar en aspectes relacionats amb les emissions de CO₂ o d'altres contaminacions ambientals que, evidentment, són favorables a la construcció d'esculleres.

Gabions. Els gabions són caixes prismàtiques realitzades amb teles de tipus galliner d'acer galvanitzat. Un cop plenes de roques, s'utilitzen per contenir talussos i per controlar les erosions causades per les aigües de la pluja. Si bé els gabions ja es coneixien i s'aplicaven amb finalitats militars defensives des del Renaixement, varen ser perfeccionats per a aplicacions d'enginyeria civil i patentats per Gaetano Maccaferri l'any 1893. L'empresa Maccaferri continua funcionant avui i ofereix, entre d'altres, solucions constructives per al control de l'erosió.

La seva economia i el seu baix impacte ambiental, l'estètica agradable i la permeabilitat a l'aigua són evidents. L'acer galvanitzat dura uns cinquanta anys a la intempèrie, raó per la qual els gabions són molt sovint una bona opció.



La fotografia superior esquerra mostra un mur de gabions convencionals realitzats amb caixes de $2,00 \times 1,00 \times 1,00 \text{ m}$, amb un diafragma intermedi; la construcció està realitzada de forma esglaonada per tal d'afavorir el treball dels



operaris. La fotografia de la dreta correspon a gabions realitzats amb mallats de rodons galvanitzats, que ofereixen una millor qualitat estètica.

No és recomanable fer murs de gabions de més de 5 m d'altura. Per a cada secció, que correspon al final d'un gabió i al principi d'un altre, cal verificar les condicions de lliscament i de bolcada. A la fila de gabions en contacte directe amb el sòl, s'ha de verificar, a més, la tensió de contacte i comparar-la amb la tensió admissible del sòl, per tal d'evitar assentaments no controlats que podrien malmetre l'estabilitat del mur.

Terra armada. La terra armada és un sistema de contenció enginyós, patentat per l'enginyer francès Henri Vidal l'any 1963. Les primeres realitzacions importants es desenvolupen al final dels anys seixanta i al principi dels setanta.

Amb aquesta tècnica, plenament provada, consolidada i vigent, preferentment en obres públiques, s'han realitzat contencions de més de 20 m d'altura amb una notable economia de mitjans respecte d'altres solucions convencionals.

El sistema es basa a reforçar el reblert de terres situat darrere de les escates per mitjà de fleixos metàl·lics, realitzats més modernament amb materials sintètics d'altres prestacions mecàniques que no es veuen afectats per fenòmens de corrosió galvànica. La fricció dels fleixos amb el sòl converteix el reblert en un mur de contenció. Les escates de formigó armat eviten l'erosió. Aquestes tenen habitualment forma de creu, si bé poden presentar altres geometries, rectangulars o hexagonals.

Aquest tipus de contenció, degut a la seva gran superfície de contacte amb el sòl, no requereix realitzar fonaments, cosa que permet que la utilització de la terra armada sigui apropiada en sòls compressibles i de baixa capacitat portant.



La fotografia superior esquerra mostra una fase de preparació d'una contenció realitzada amb terra armada. S'hi han col·locat les escates i els fleixos. A la fotografia de la dreta, s'està procedint a compactar el sòl per disposar-hi a sobre l'estrat següent de fleixos.

A partir dels principis mecànics de la terra armada, s'han desenvolupat altres opcions, com la que es mostra a la fotografia esquerra de la pàgina següent. Les escates se substitueixen per sacs terrers amb llavors i la funció dels fleixos



l'acompleixen unes bandes de geotèxtil. En germinar les llavors, les plantes que en resulten contribueixen a estabilitzar la terra i ofereixen un talús estable d'aspecte natural.

La fotografia inferior esquerra correspon a l'aspecte inicial d'una contenció realitzada amb aquest procediment. La fotografia de la dreta mostra un talús estabilitzat amb el mateix sistema ja cobert de vegetació.



Les dues fotografies inferiors són exemples d'estabilització de talussos amb elements prefabricats de formigó que actuen com a jardineres.



A la fotografia inferior esquerra, les peces prefabricades s'han col·locat formant una pantalla contínua. La fotografia de la dreta mostra la utilització de pneumàtics plens de terres fent les funcions de peces prefabricades.





La fotografia inferior esquerra permet apreciar la construcció d'un mur de contenció realitzat amb maçoneria. S'hi pot observar el tub que permet l'evacuació de les aigües pluvials per evitar la pressió hidrostàtica que causaria la seva retenció. La fotografia de la dreta correspon a un mur de contenció realitzat amb fàbrica de bloc.



Els exemples exposats constitueixen una mostra de la varietat de les solucions constructives existents a disposició dels tècnics, per abordar i resoldre els problemes derivats de la contenció de terres.

Contencions per gravetat flectades

Les contencions per gravetat flectades estan resoltes amb formigó armat. Consisten de dos elements: la sabata, que actua com a fonament, i la pantalla, que s'encarrega de mantenir el talús corresponent en condicions de seguretat.

La qualitat de resistència a la flexió pròpia del formigó armat permet aprimar notablement el gruix de les pantalles respecte de solucions exclusivament comprimides. Per contra, el seu pes global per metre lineal ha de ser similar, amb l'avantatge de la densitat més alta del formigó armat (2.500 kg/m^3) respecte de les fàbriques convencionals ($1.800\text{-}2.000 \text{ kg/m}^3$).

Les contencions per gravetat flectades s'agrupen en tres tipologies: murs en mènsula, murs de contraforts i murs de safates.

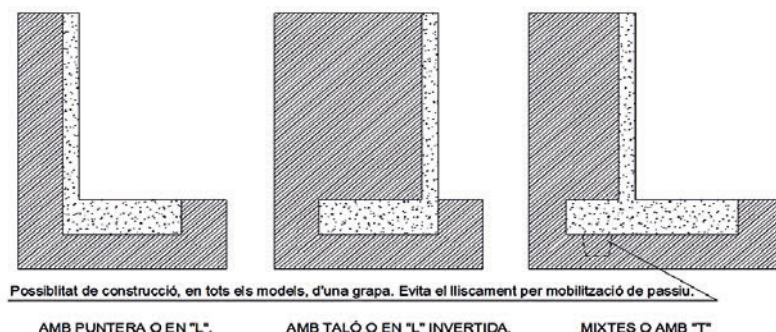
Murs en mènsula. S'anomenen així perquè la pantalla treballa com un voladís respecte de la sabata en la qual s'aconsegueix un encastament perfecte, amb capacitat per assolir el moment generat per les empentes de terres, aigua i sobrecàrregues.

El treball a flexió en voladís esgota ràpidament la capacitat resistent de les seccions. Per aquest motiu, a la pràctica, aquest tipus de mur se sol limitar als 6,00 m d'altura, comptats des de la base de la sabata fins al coronament del mur.

Sobrepasar aquesta cota, atès que l'altura hi intervé al quadrat, comporta la necessitat de fer sabates de dimensions molt elevades i pantalles amb cantells a la seva base superiors als 60 cm. Per calcular els moments màxims a la pantalla, la dimensió que es pren és la compresa entre la cara superior de la sabata i el coronament del mur.

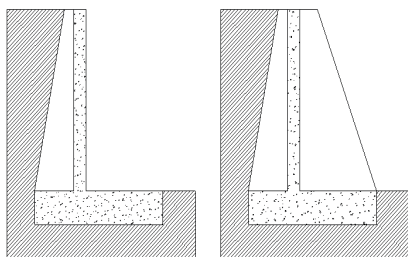


A mesura que augmenta l'altura, es produeix una disminució ràpida dels moments flectors a què està sotmesa la pantalla, fins arribar a zero al seu coronament. És freqüent adaptar la construcció a aquesta circumstància per tal de racionalitzar el disseny i estalviar materials. A aquest efecte, la cara exterior es pot construir lleugerament inclinada, reduint la secció de la pantalla a mesura que augmenta la seva altura, o bé mantenir la verticalitat del pany i realitzar una o més banquetes per reduir la secció del mur.



El gràfic anterior mostra les diferents tipologies per a la construcció de murs en mènsula.

Murs de contraforts. Els models de murs que es detallen al gràfic inferior esquerre, resolts amb contraforts, són una solució enginyosa. Les tensions es concentren en les mènsules, elements de gran rigidesa, que les reben de les pantalles. Aquestes flexen en el pla horitzontal com si es tractés d'una biga contínua. Per tant, a la pantalla, es generen moments positius i negatius molt més assequibles que en el cas de les mènsules. Com a aspecte negatiu, cal esmentar la gran quantitat de materials i de mà d'obra que es necessiten per construir-los.



AMB CONTRAFORTS.

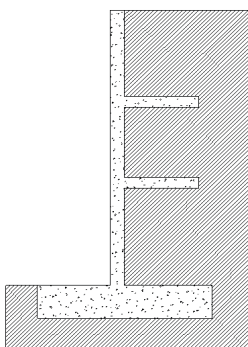


La fotografia superior dreta mostra un mur de contenció de contraforts que utilitza el pes de les terres sobre la sabata com a recurs contra el bolc.

Murs de safates. el gràfic dret de la pàgina següent mostra la secció d'un mur de safates. Aquestes serveixen per involucrar favorablement el prisma de terres en la contenció del bolc i del lliscament, i per escurçar la longitud de flexió de la pantalla.

És una solució enginyosa i imaginativa per fer front a contencions de fins a 10,00 m d'altura, amb mitjans de baixes prestacions. Es pot considerar un ante-

cedent de la terra armada. Actualment, està totalment en desús, per la complexitat de la seva execució.



AMB SAFATES.



Solucions prefabricades. Les solucions prefabricades o semiprefabricades constitueixen una alternativa per resoldre contencions amb elements flectats. S'empren, preferentment, a les obres públiques. En aquest tipus d'obres, la rapidesa o les possibilitats d'execució dels treballs en unes condicions determinades es prioritzen per davant del preu.



La varietat de models és molt àmplia, des de mòduls sencers en L invertida que requereixen únicament anivellar la base de suport i el reblert del talús (fotografia dreta anterior), fins a solucions mixtes amb sabates convencionals i mòduls pantalla prefabricats, encastats en elles. Amb aquestes últimes, es poden fer contencions de fins a 9,00 m d'altura (fotografies superiors).

Els mòduls de mur fan 2,40 m d'amplada (el límit per a un transport convencional per carretera és de 2,50 x 12,00 m), tenen contraforts interiors i un gruix de paret que oscil·la entre els 10,00 i els 13,00 cm, segons els models. El seu pes



màxim és d'unes 18,00 t. De nou, la logística del transport imposa les seves lleis, en aquest cas per qüestió de pes.

Contencions subjectades. Les contencions subjectades són aquelles que compten amb la col·laboració de mitjans auxiliars, provisionals i/o definitius, per accomplir la funció estabilitzadora de les terres i de les sobrecàrregues. Estan realitzades amb formigó armat i, per tant, ofereixen bones prestacions per al treball a flexió i com a elements d'estanquitat.

Com a mitjans auxiliars de les contencions, existeix un ventall ampli d'elements constructius i de recursos sorgits del propi sòl: els estampidors, les berms de terres, els ancoratges injectats al terreny, els sostres i la mobilització de passiu de les zones enterrades de la contenció en són els més habituals.

Les contencions subjectades són, en general, més esveltes i de més envergadura que les que treballen exclusivament per gravetat. A continuació, s'exposen les característiques dels tipus més comuns.

Els murs encofrats subjectats en cap permeten, si les condicions del sòl i/o de l'entorn són favorables, la construcció de fins a dos soterranis. Es poden fer encofrats a una cara (caldrà limitar aquesta solució a la realització d'un soterrani, davant del risc d'esfondrament que presenta un talús vertical al voltant dels 6,00 m d'altura) o encofrats a dues cares en funció dels condicionants de l'obra.

Si es comparen les dimensions de les sabates dels murs en mènsula amb les dels murs subjectats, es pot apreciar que aquestes són substantivament més petites, pel fet que els murs subjectats en cap no poden bolcar ni lliscar, per raó de la disposició dels sostres i dels fonaments que equilibren les empentes de les cares enfrontades del vas.

En la transmissió d'empentes a l'interior dels vasos, es pot considerar la contribució de la solera del darrer soterrani, convenientment armada. Les soleres poden constituir, en determinades ocasions, una alternativa constructiva a les riestes en zones amb risc de sismicitat segons s'indica a l'EHE-08 (v. annex 10, apartat 6.8).

Habitualment, sobre els murs subjectats en cap, s'hi descarreguen elements estructurals, murs i/o pilars. És necessari considerar l'excentricitat que comporten aquestes càrregues respecte de l'eix de la sabata. En aquestes situacions, se solen generar moments força elevats. Cal compensar-los dissenyant bigues centradores.

En les operacions de verificació estructural, les càrregues puntuals que actuen sobre el cap de la contenció es considera que es transmeten de forma uniforme sobre les sabates del mur, com a conseqüència de la dispersió d'esforços que es produeix des del pla de contacte fins a la base de la sabata.

Per exemplificar el comentari anterior, es considera que actuen sobre una contenció uns pilars situats a una distància aproximada de 5 m entre ells. Tenen unes càrregues de servei de l'ordre de 100 Ton cadascun. D'acord amb el que s'ha exposat, s'aplicarà sobre la sabata una sobrecàrrega de 20 Ton/ml, a més dels esforços derivats de les empentes que puguin actuar sobre el sistema i els pesos respectius dels elements constructius.



Recalçaments. Els recalçaments són operacions que es realitzen sota els fonaments d'un edifici determinat per tal de reforçar-los o per construir-ne un altre d'adossat a l'existent, a una cota interior.

En el segon supòsit, els recalçaments es poden considerar una variant dels murs subjectats en cap, atès que suporten empentes, i disposen de sabata, pantalla armada i la presència d'un sostre estabilitzador.

La construcció de recalçaments és un tipus de treball artesà que s'hauria d'evitar, sempre que fos possible, pel risc que comporta, malgrat que actualment s'utilitza maquinària en la seva execució. Els recalçaments s'han inclòs dins de les contencions subjectades, perquè treballen com a tals durant la fase de servei.

Cal tenir present que, durant un curt període de temps, els recalçaments han de fer front en solitari a les empentes del sòl i a les càrregues que provenen de l'edifici recalçat.

Durant la construcció dels batatges, per fases alternes, i durant el buidatge definitiu del vas, no es pot comptar amb la col·laboració del sostre. Per aquesta raó, la sabata s'ha de verificar a bolc. Les càrregues permanents de l'edifici ajuden a equilibrar les empentes de les terres.

La fotografia inferior esquerra mostra que s'han realitzat dos batatges de la primera sèrie. S'hi pot observar la continuïtat de les armadures a ambdós costats. Queden per retirar les terres situades sota el fonament per tal de realitzar el batatge central, enllaçant als dos laterals.

La fotografia dreta permet apreciar els estampidors necessaris per formigonar un batatge. Per garantir un bon contacte entre els formigons, cal eliminar les restes de terra i retacar la zona de contacte amb morter sense retracció.



Com a alternativa segura als recalçaments manuals, es proposen les barreres de micropilons. Durant l'excavació la barrera, estintolada si cal, contindrà l'empenta de les terres. Un cop conclosa l'extracció de terres, un mallat i un gunitat poden oferir un bon acabat als paraments del nou soterrani.

Corones de batatges en fase descendent. La construcció de corones descendents de batatges ancorats al sòl per protegir l'estabilitat dels vasos fou, junt amb les barreres de pilons, un dels procediments que es van emprar a partir dels anys quaranta per fer soterranis en zones urbanes.



Actualment, és un procediment que s'utilitza poc, perquè ha estat desplaçat per la construcció de murs pantalla. Malgrat tot, és una alternativa per continuar aprofundint els vasos d'edificació més enllà de les possibilitats d'atac de les culleres bivalva. El procés d'execució és el següent:

- Rebaixar el vas fins al nivell inferior de la primera corona de batatges, deixant-hi bermes de terra, si cal.
- Retirar les bermes en la longitud del front de seguretat establert.
- Aferrallar, encofrar, formigonar i curar els batatges.
- Perforar, col·locar-hi tendons i injectar els ancoratges. Habitualment, se'n col·loquen com a mínim dos per batatge.
- Col·locar les plaques de base i tesar els ancoratges.
- Repetir les operacions a la corona inferior prenent la precaució de confeccionar els batatges a trencajunts respecte dels de la precedent.

És necessari garantir la continuïtat de les armadures, tant verticalment com horitzontalment.

Les fotografies inferiors corresponen a dos vasos realitzats pel mètode de les corones descendents, en què es poden apreciar els ancoratges que subjecten els diferents batatges.



Murs pantalla. Els murs pantalla constitueixen la solució més habitual per realitzar vasos d'edificació en zones urbanes denses, en què predomina la construcció entre mitgeres. El seu sistema de construcció evita la descompressió del sòl i facilita el procés d'excavació del vas.

Per realitzar-los, és imprescindible conèixer amb detall els paràmetres geotècnics i l'estratigrafia del sòl, des de la cota zero fins a més enllà de la fondària de clava, a partir d'un estudi geotècnic detallat i orientat a aquesta finalitat.

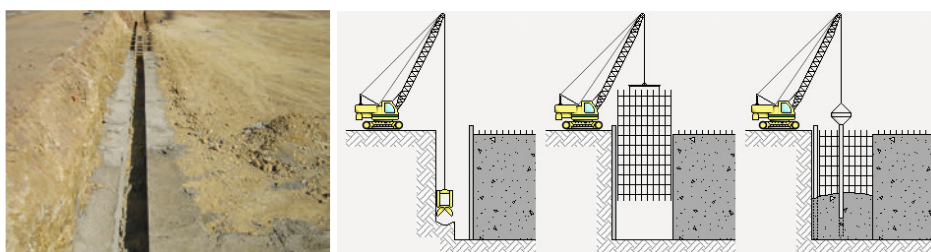
Si bé, per raó del seu sistema de construcció, no es pot garantir l'estanquitat absoluta d'un mur pantalla, actualment existeixen productes de reparació que

permeten contenir les aigües, en la majoria dels casos. No cal realitzar, excepte en casos excepcionals, cambres d'aire ventilades ni canalitzacions per a la recollida i l'evacuació de les aigües freàtiques.

Genèricament, la construcció d'un mur pantalla consisteix en l'obertura d'un forat de l'amplada de la cullera bivalva que realitza la perforació. Les mesures més habituals oscil·len entre 450, 600 i 800 mm.

La llargada del batatge depèn de la cohesió del sòl que s'hagi de travessar. Si la cohesió del sòl és baixa, la perforació i el formigonatge es poden efectuar amb llots bentonítics.

La fondària del batatge depèn de la cota d'excavació, més una fondària addicional anomenada de clava, que representa entre un 20 i un 30 % de la mida de la contenció. Amb maquinària convencional, es poden fer fins a cinc soterranis, la qual cosa suposa efectuar perforacions al voltant dels 20 m de fondària.



Un mur pantalla necessita murets guia per a la cullera per garantir la verticalitat i l'alineació dels batatges (fotografia superior esquerra). D'altres propietats que es demanen als murs pantalla són: capacitat resistent, estanquitat i qualitat de la superfície.

Un cop realitzada la perforació del batatge, la fase següent és la introducció de la gàbia d'armadures i la col·locació de l'element de junt. El formigonatge es realitza amb formigó de consistència fluida i amb l'auxili d'un tub tremie. Aquest s'ha de mantenir submergit com a mínim 3 m dins el formigó si el formigonatge es realitza en sec i com a mínim 4 m si el formigonatge es realitza amb llots bentonítics, per tal d'evitar la contaminació del formigó (esquema superior dret).

Un cop el formigó ha començat el procés d'enduriment, se suprimeix l'element de junt i es continua el procés de construcció de batatges fins a completar el perímetre del vas.

Abans d'iniciar la perforació del vas, cal enllaçar els batatges amb una biga de coronament (fotografia esquerra de la pàgina següent). Per fer-ho, s'ha de sanejar, amb un martell trencador, el formigó contaminat de la part superior dels batatges respectant els armats del mur pantalla, per tal que restin enllaçats amb les armadures de la biga de coronament (fotografia dreta). Aquesta, a més de la funció descrita, té per objecte repartir de forma homogènia les càrregues dels pilars que incideixen sobre el mur pantalla.



El procés d'excavació ha d'estar definit en el projecte executiu. S'hi han d'indicar les cotes de cada fase i el sistema o els sistemes previstos per a la contenció provisional de les terres. Cal que el procés constructiu previst asseguri, en tot moment, l'accés i la continuïtat del treball de les màquines excavadores.

Cal tenir en compte que els sistemes de contenció provisional no poden coincidir amb les cotes dels sostres i que els murs pantalla han de donar resposta mecànica a situacions diverses, fins que no entren en la fase de servei definitiu, quan els forjats substitueixin els sistemes de contenció provisionals.

A la fotografia inferior esquerra, es mostra un ancoratge injectat al terreny en la fase de perforació. A la dreta, s'observen estintolaments realitzats amb elements prefabricats. El seu límit pràctic d'utilització se situa al voltant dels 20 m.

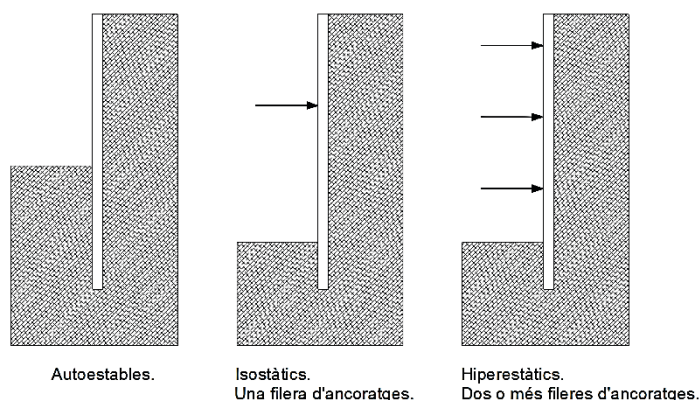


Els murs pantalla es calculen per absorbir els moments pèssims que s'acostumen a produir durant la fase de construcció.

En funció de la seva forma de treball, es poden considerar tres tipus de murs pantalla:

- Autoestables
- Ancorats isostàticament
- Ancorats hiperestàticament

TIPUS DE MURS PANTALLA.



Autoestables. Els murs pantalla autoestables treballen gràcies al diferencial que existeix entre les empentes activa i passiva del sòl. En el procés de càlcul, no convé sobrepassar el 60 % del valor de l'empenta passiva.

Atesa la gran fondària de clava que es necessita, habitualment superior a la de la zona volada, els murs pantalla autoestables només s'utilitzen com una fase d'excavació. Usualment, no es fa treballar un mur pantalla com a autoestable més enllà de 4 m, perquè encara que hi hagi clava suficient es produeix l'esgotament de la secció de formigó a flexió.

Ancorats isostàticament. Els murs pantalla ancorats isostàticament són aquells que disposen d'una sola filera d'ancoratges, entenent com a tals qualsevol tipus de solució constructiva amb capacitat de produir aquest efecte.

Estan sotmesos a moments positius i negatius, tant en el pla vertical com en l'horitzontal. Amb aquest tipus de mur pantalla, es poden resoldre fins a tres soterranis, si les característiques del sòl ho permeten. Cal verificar els esforços en fase autoestable, en fase d'excavació fins arribar a la cota de solera i en fase de servei.

Ancorats hiperestàticament. Els murs pantalla ancorats hiperestàticament són aquells que disposen de dues files o més d'ancoratges, raó per la qual han d'absorbir moments positius i negatius, tant en el pla vertical com en l'horitzontal.

Com que les tensions que suporten són elevades, cal considerar reforços en les armadures dels batatges per fer front a esforços de punxonament derivats dels ancoratges. Amb mitjans convencionals de perforació, es poden construir fins a cinc soterranis, si bé aquestes limitacions es poden superar abastament amb l'ús d'hidrofredes.

Barreres i pantalles de pilons. Les barreres i les pantalles de pilons són una alternativa interessant davant la impossibilitat d'executar murs pantalla en sòls sense cohesió i en roques toves o disgregades. Si bé el seu cost és un 50 %



més elevat que el d'un mur pantalla, és una solució substantivament més avançada, des del punt de vista tècnic i econòmic, que la realització d'una barrera o pantalla de micropilons.

Les barreres es construeixen situant els centres dels pilons a distàncies superiors a dos diàmetres. L'espai entre pilons consecutius és inferior al diàmetre d'un piló. La seva execució, el seu comportament mecànic –amb les limitacions pròpies que imposa la secció circular– i la manca de continuïtat són similars als dels murs pantalla.

La fotografia inferior esquerra mostra la construcció d'una barrera de pilons. S'hi poden apreciar les armadures dels diferents pilons ja realitzats. A l'esquerra, es reproduïx una peça de poliestirè expandit que, un cop formigonada sobre el terreny, marca la posició en la que s'hauran de perforar els diferents pilons. A la dreta, s'observa una barrera de pilons acabada, amb la biga de coronament i tres fileres d'ancoratges.



També es poden realitzar pantalles de pilons perforant un tercer piló secant a l'espai entre dos pilons, lleugerament per sota del diàmetre d'aquests.

La perforació del nou piló i el seu formigonatge posterior ofereixen unes prestacions d'estanquitat molt similars a les d'un mur pantalla. Per facilitar la perforació dels pilons intermedis, s'ha d'aprofitar el període d'enduriment del formigó. D'acord amb el que s'ha exposat, les pantalles de pilons es poden realitzar tangents o secants.

L'execució de les barreres i de les pantalles de pilons requereixen construir un muret guia per tal de garantir-ne l'alineació.

Igual com en els murs pantalla, és necessari construir una biga de coronament per enllaçar tots els pilons, com a pas previ abans d'iniciar l'excavació del vas.

8.3 Aspectes de la tècnica constructiva sobre els murs de contenció de formigó armat

Els murs de contenció de formigó armat, tant si treballen en mènsula com si estan subjectats, es poden encofrar a una cara o a dues. Cal garantir que les armadures conservaran la mateixa posició abans i després del formigonatge. Amb aquesta finalitat, es disposen separadors de roda (fotografia inferior es-



querra) o models (com el de la dreta) que garanteixen, en una sola operació, la separació entre els armats i el recobriment. Habitualment, per separar les cares i mantenir-les unides, s'utilitzen forquilles fetes amb rodó, a més de la peça indicada.



8.3.1. Murs de contenció encofrats a una cara

Encofrar un mur de contenció a una cara es pot considerar una operació forçada per la proximitat a un carrer o a una construcció; en aquest darrer cas, cal adoptar la precaució d'actuar per batatges.

Les raons per les quals cal evitar, si és possible, encofrar a una cara són les següents:

- Cal fer estintolaments per resistir la pressió del formigó durant el procés d'abocament. Aquests estintolaments no sempre es poden fer sobre sòls fermes.
- Hi ha la possibilitat de contaminar el formigó durant el formigonatge. El formigó, quan cau, encara que es vagi amb cura, exerceix una acció erosiva sobre el parament del talús. Es poden arrossegar terres en el mur i debilitar-lo.
- És necessari garantir recobriments importants a la cara interior del mur, amb la reducció consegüent del braç mecànic de la secció.
- És difícil controlar el consum de formigó. Rarament la paret del talús és perfectament vertical. Si transcorre un temps llarg entre l'excavació i el formigonatge, és possible que es produeixin desprendiments a l'extradós que incrementin el consum de formigó.
- És materialment impossible realitzar impermeabilitzacions i drenatges.

Les tres fotografies de la pàgina següent corresponen a encofrats a una cara de murs de contenció. A la de l'esquerra, la contenció de les empentes es realitza per mitjà de puntals d'obra. A la central, per mitjà de tornapunts prefabricats. La de la dreta mostra la protecció del talús per evitar la contaminació del formi-



gó. En tots els casos, cal garantir la continuïtat lateral de les armadures per tal que la pantalla sigui monolítica, un cop formigonada.



8.3.2. Murs de contenció encofrats a dues cares

Les característiques dels murs de contenció encofrats a dues cares són les següents:

- La qualitat del parament i del formigonatge. S'evita, en gran mesura, la possibilitat de filtracions.
- El respecte escrupolós dels recobriments. Es garanteix la durabilitat de les armadures.
- El consum ajustat del formigó a les previsions de projecte. No hi ha sorpreses econòmiques.
- La possibilitat d'impermeabilitzar i drenar la cara del mur en contacte amb les terres. La qualitat de l'execució és més alta i hi ha menys possibilitats de reclamacions sobre l'obra acabada.

Les dos fotografies inferiors corresponen a murs encofrats a dues cares amb un sistema de panells de gran format. Com es pot observar, els panells estan enllaçats entre si, de manera que pràcticament no es necessita estintolament.





Respecte als encofrats, cal que siguin versàtils, amb capacitat per resoldre encontres i zones corbades, i siguin fàcils de muntar i desmuntar.

8.4 Sistemes d'encofrats per a murs

En la construcció dels murs de contenció, hi ha tingut una gran incidència el desenvolupament dels encofrats, entesos com a eines per ser emprades diverses vegades en el cicle de construcció.

En l'encofrat de murs, com en els altres encofrats, cal preguntar-se si es volen les cares vistes o no, per tal de triar les superfícies d'encofrat més rendibles i adequades a cada circumstància. També cal tenir compte els elements de seguretat i de protecció individual i col·lectiva com a part integrant i indissoluble dels diferents sistemes.

El formigonatge dels murs sol comportar volums significatius de formigó. Els murs s'han d'omplir sempre per tongades horitzontals d'entre 50 i 70 cm d'altura, fins al seu coronament, per tal de garantir un vibratge correcte de tota la massa i evitar un excés de pressió.

La llargada de l'encofrat i la discontinuïtat de l'armadura horitzontal fins als 7,50 m, o més enllà dels 7,50 m, és determinant pel que a la quantia necessària en les armadures de retracció (v. taula 42.3.5 de l'EHE-08). Si es disposen junts verticals de contracció a distàncies no superiors als 7,50 m, amb l'armadura horitzontal interrompuda, les quanties geomètriques horitzontals mínimes es poden reduir a la meitat de les especificades a la taula 42.3.5.

8.4.1. Sistema manual.

Es tracta d'un procediment per encofrar murs a dues cares amb elements manipulables per una sola persona (fotografia inferior esquerra). Les superfícies de l'encofrat són taulers dels que s'empren habitualment en la construcció de sostres, de 197-200 × 50 × 2,5-2,7 cm. Altres elements són uns tirants de platina d'acer i unes peces encarregades d'enllaçar-los, anomenades *corbates*.





El procés d'execució del sistema d'encofrat manual és el següent: sobre les esperes de la fonamentació, es fixen els armats de les dues cares dels murs dotant-los dels separadors corresponents. Si és necessari, s'estintolen per garantir la seva verticalitat durant les operacions de muntatge de l'encofrat.

Com a base de partida per a l'encofrat pròpiament dit, cal disposar uns taulons verticals clavats sobre el sòl, distanciat 2 m i ben aplomats. Aquests taulons serviran de pausa per col·locar els taulers (fotografia superior dreta).

L'operació següent consisteix a disposar dos dorments sobre el sòl, que prèviament s'ha aplanat. Aquesta opció pot no ser necessària si la base de la sabata ha quedat ben anivellada. Sobre aquests dorments, a distàncies regulars d'uns 30 cm, en els espais que deixen lliures les armadures, es disposen els fleixos i, a sobre d'ells, els taulers. Amb les corbates i els fleixos de la cara superior, els taulers queden estabilitzats.

S'han de col·locar tants taulers com siguin necessaris per cobrir l'altura del mur. Cada tauler cobreix una altura de 50 cm. A mesura que es van revestint els armats, cal disposar separadors (habitualment, els de roda) per garantir-ne un recobriment correcte, un cop abocat i vibrat el formigó.

El procediment d'execució del sistema manual presenta com a inconvenient el fet que, un cop desmuntats els taulers, afloren sobre la superfície del mur els caps de les platines passadores. Cal que s'eliminin ràpidament per evitar accidents.

Si els taulers estan ben conservats i l'armament, l'abocament i el vibratge del formigó s'han realitzat correctament, la qualitat de la superfície obtinguda amb aquest sistema d'encofrat és força correcta. El resultat estètic es pot veure compromès si s'empren taulers en mal estat i/o es realitzen de forma incorrecta les operacions de formigonatge.

8.4.2. Sistemes de grans panells.

Amb poques variants, segons els fabricants, els sistemes de grans panells d'encofrat es caracteritzen pels aspectes següents:

Modulació

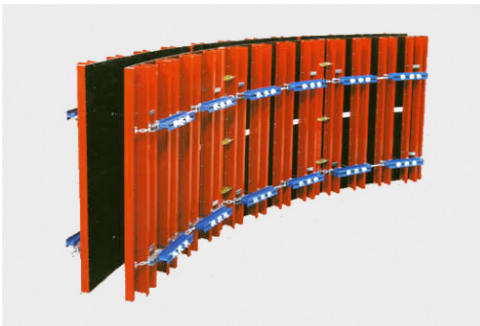
Panells constituïts per bastiments de tub d'acer i folres de taulers fenòlics o de xapa d'acer, segons la qualitat de superfície que es vulgui tenir. Els mòduls de base solen fer 3 m d'altura. Les amplades responen a la sèrie 20, 25, 30, 35, 40, 50, 80 i 100 cm (fotografia esquerra de la pàgina següent). Els mòduls suplementaris fan 1 m d'altura, amb la mateixa sèrie d'amplades. Aquestes dimensions poden variar lleugerament segons els fabricants.

Necessitat de grua

La grua és un element indispensable per a la manipulació i la posada en obra, segons el pes i les dimensions dels panells. Cal comptar amb un pes aproximat



de 50-60 kg per metre quadrat. En el disseny els panells, s'hi disposen els corresponents enganxalls per facilitar-ne la mobilitat i la posada en obra.



Flexibilitat

Són adaptables a encontres i cantonades (fotografia adjunta al apartat 3.2). Alguns models permeten, fins i tot, la realització de tubs verticals de secció quadrada, rectangular o circular (fotografia superior dreta).

Facilitat d'enllaç

Els panells s'enllacen fàcilment entre ells per mitjà de grapes d'accionament manual, falques i d'altres procediments que no requereixen eines especials (habitualment, es poden accionar a cops de martell). La fotografia superior esquerra permet apreciar les grapes d'unió entre els panells. Els dissenyadors tenen en compte les condicions dures que els materials han de suportar a l'obra, on sistemes mecànics més sofisticats tindrien una vida útil molt curta.

Ergonomia

Les peces d'enllaç entre panells es dissenyen de pes reduït i de forma que siguin fàcils de manipular. La majoria de sistemes d'encofrat de grans panells estan preparats per ser emprats com a encofrats trepants, utilitzant com a element de suport el propi mur.

Per dur a terme les operacions d'aferrallat, muntatge i formigonatge en les dègudes condicions de seguretat, s'hi ien

Realització de corbes

És possible realitzar corbes contínues en diversos sistemes de grans panells, utilitzant costelles (habitualment, bigues de fusta) enllaçades per les corretges que donen suport als panells. Aquestes corretges s'uneixen entre si de forma articulada i generen la directriu corba prevista (fotografia de la pàgina següent esquerra).



Sobre la superfície corba generada per les corretges articulades (bigues de fusta), es fixa un tauler fenòlic de contraplacat (fotografia superior dreta). El seu gruix i el seu grau de flexibilitat s'han d'adaptar a la curvatura prevista. El radi mínim recomanable per a aquest tipus d'encofrat és d'uns 3,00 m, si bé hi ha sistemes basats en els equips de grans panells que permeten realitzar radis de fins a 1,00 m. Radis menors requereixen motlles específics.

En la fase d'elaboració del projecte executiu, cal considerar l'increment de cost dels encofrats i de les operacions d'aferrallat derivades de la realització de corbes. El cost unitari d'aquestes operacions pot arribar a ser el doble del de les superfícies planes.

8.5 Productes desencofrants

Els productes desencofrants tenen com a funció bàsica evitar o reduir l'adherència del formigó sobre la superfície encofrant. D'aquesta manera, les operacions de desencofrar es realitzen més fàcilment i amb menys esforç. A més, es perllonga la vida útil dels encofrats.

Tradicionalment, s'havien utilitzat com a productes desencofrants olis minerals derivats del petroli, entre ells el gasoil. Aquests productes presenten una sèrie d'inconvenients:

- Irritabilitat si entren en contacte amb la pell
- Despreniment de vapors tòxicsInflamabilitat
- Contaminació del medi ambient. No són fàcilment biodegradables.
- Taques sobre la superfície del formigó

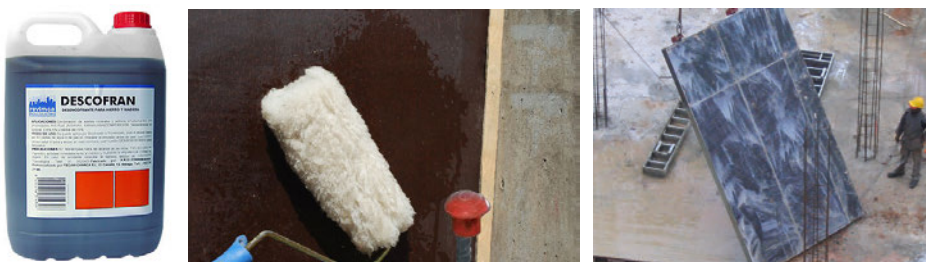
Aquesta situació s'ha resolt emprant desencofrants de base vegetal (*vegetable-oil based release agents* o VERA). Els VERA es produeixen a partir d'olis vegetals, obtinguts de la colza, de la soja o del gira-sol. Van aparèixer al mercat cap a l'any 2000.

Aquests olis es poden aplicar modificats o purs, sense barrejar amb aigua o bé barrejats amb aigua. En aquest darrer cas, els VERA es modifiquen químicament i es transformen en esters per facilitar-ne l'aplicació.



Els esters es presenten en estat líquid (fotografia inferior esquerra). Pel seu caràcter tensioactiu no iònic, són emulsionables. Per tant, faciliten la interacció complexa amb altres fases líquides (agua o altres olis) a nivell molecular.

Es forma un tercer estat estable, l'emulsió, d'aspecte lletós. A la fotografia inferior dreta, es mostra un tauler de gran format, tractat amb VERA, a punt per a ser col·locat a l'obra. Sobre el tauler, es produeix la dispersió homogènia d'un producte en l'altre. Aquest procés provoca un augment de la viscositat.



Els productes desencofrants realitzats amb VERA compleixen una sèrie interessant de requisits:

- No són corrosius ni agressius, ni per als bastidors ni per a les superfícies de l'encofrat.
- No deixen taques sobre el formigó.
- Resisteixen l'efecte d'una pluja moderada.
- No desprenen vapors tòxics ni resulten agressius per als operaris en cas de contacte directe amb la pell.
- No són inflamables.
- Són estables i fàcils d'aplicar. Es poden aplicar amb rodet o amb pistola (fotografia central).







El sistema estructural de parets

9.1 Introducció

Les parets estructurals realitzades amb materials petris o amb argila assecada al sol (parets de tova o de tàpia) o endurida per cocció (parets de fàbrica de totxo) han estat, durant segles, la forma més habitual de construir tota mena d'edificis: religiosos, civils o militars.

Construir amb parets estructurals pot semblar obsolet per a moltes de les tipologies edificatòries actuals. Malgrat tot, conèixer aquest sistema resulta imprescindible per a tot professional de la construcció, per les raons següents:

- La gran quantitat d'edificis patrimonials construïts amb parets estructurals que necessiten ser conservats, de forma digna, com a testimoni del pasat i exemples integrants de la nostra cultura.
- L'existència d'un parc molt extens d'habitatges edificats així i encara en ús, sobre els quals incidirà una bona part de l'activitat professional del futur que, en bona mesura, tindrà entre els seus referents la rehabilitació i el manteniment dels edificis.
- La necessitat de realitzar intervencions estructurals complexes en edificis construïts amb parets de càrrega per tal d'adaptar-los a nous usos. La creació d'espais diàfans eliminant parets, la realització de nous soterranis o la conservació de les façanes per mantenir la unitat del paisatge urbà són actuacions habituals en les nostres ciutats.
- La realització de parets estructurals amb materials de construcció d'aparició més recent, com la Termoarcilla®, els blocs de formigó, el formigó armat realitzat *in situ* o en forma de panells prefabricats, han aportat noves possibilitats a una tècnica constructiva que té uns quants mil·lennis d'existència.



Resulta obvi concloure que vivim envoltats de parets i que, sense elles, la nostra vida seria molt més difícil. A les pàgines següents, s'analitzen les tipologies, les prestacions i les característiques constructives del sistema estructural de parets, des de les seves primeres etapes fins avui.

9.2 La funcionalitat de les parets estructurals

En aquest apartat, s'analitzen les diferents funcions que, de forma genèrica, aconsegueixen –o haurien d'aconseguir amb un cert grau d'eficiència– les parets estructurals.

Si es considera l'aspecte estructural com el primer dels requisits que han de complir, cal que les parets tinguin capacitat resistent a la compressió per transmetre als fonaments el seu pes propi i les càrregues que puguin rebre dels sostres i d'altres elements constructius que s'hi recolzin. La resistència a la compressió d'una paret estructural depèn de diversos factors:

- El gruix. Com més gruixuda és, més secció té i més gran és la seva capacitat resistent.
- L'esveltesa, entesa com la relació entre l'altura lliure de la paret entre recolzaments i el seu gruix.
- El material o els materials que la componen. Una paret en sec, sense cap mena d'aglomerant, en principi és menys eficient que la que té aglomerant per omplir els junts. Dues parets de les mateixes característiques dimensionals i espacials tindran capacitats diferents en funció de la seva resistència a la compressió com a fàbrica. Aquesta resistència està relacionada amb el mòdul de deformació de cadascuna d'elles. Un mòdul de deformació més gran equival a més capacitat resistent.
- La tècnica constructiva emprada, és a dir, l'aparell que garanteixi la trava entre les peces que constitueixen la fàbrica.
- La disposició espacial de la paret. La resistència estructural es veu incrementada amb l'existència de sostres i de parets amb funció de riosta.

Tota paret estructural ha de tenir una certa capacitat per resistir els esforços horitzontals provocats per la naturalesa –el vent, les empentes de l'aigua i de materials emmagatzemats (gramínies, per exemple) i els sismes. També la pròpia construcció, en forma de voltes i cúpules, genera empentes que cal absorbir. A la fotografia esquerra de la pàgina següent, que mostra l'efecte d'un sisme sobre un habitatge unifamiliar, es pot apreciar el comportament irregular dels diversos cossos de l'edifici.

Els esforços provocats pel vent i per les empentes de les aigües i dels materials són absorbits per la massa, en un sistema estructural de parets de construcció tradicional. La component vertical generada pel pes propi de les parets estructurals i la geometria del conjunt de l'edifici resulten més que suficients per fer-hi front en la majoria de les ocasions, en tractar-se d'edificis poc esvelts.



Una construcció es considera esvelta quan la relació entre l'altura i la dimensió menor de la seva base és superior a 5. Excepte en les xemeneies (fotografia inferior dreta), aquestes proporcions no se solen donar en les obres de fàbrica de totxo.



En les construccions esveltes, és imprescindible verificar els esforços horitzontals i incloure en el disseny mecanismes tècnics i materials adequats per absorbir-los. Els esforços provocats per les voltes i les cúpules requereixen un tractament específic en forma de contraforts, com els de l'església de Favara (fotografia inferior esquerra), o sistemes més complexos, com la incorporació d'arcbotants, com els de la catedral de Notre-Dame de París (fotografia inferior dreta). Els constructors i els estudiosos han dedicat, al llarg de la història, grans esforços per analitzar i depurar els models capaços d'absorbir-los.



Enfront dels sismes, les construccions tradicionals de parets estructurals ofereixen una resposta molt poc eficient, pel seu baix mòdul de deformació. En cas de sismes severs, la baixa cohesió interna de les fàbriques provoca col·lapses greus en els edificis.

La presència de morters atorga a les fàbriques una certa capacitat de treball a tracció, encara que molt dèbil (al voltant de $0,1 \text{ N/mm}^2$). Aquests valors són molt baixos per a ser considerats en els càlculs; en canvi, els seus efectes es poden apreciar en algunes parets i voltes que, en situacions límit, es mantenen dempeus. En són un testimoni les fotografies següents del monestir de Santa Maria de Moreruela a Zamora (esquerra) i de l'església de Santa Mariña Dozo a Pontevedra (dreta).



En el sistema de parets estructurals, la formació de “caixes” combinant parets de càrrega i de trava constitueix és un recurs important de disseny per fer front als esforços horitzontals.

A més de la funcionalitat estructural, les parets delimiten i tanquen espais que faciliten el desenvolupament, dintre seu, de tota mena d'activitats amb les degudes condicions de seguretat i de confort.

Les parets ofereixen protecció enfront de la intrusió; retarden i limiten la propagació del foc, i actuen com a aïllants tèrmics i acústics. Per mitjà de forats, convenientment proveïts de tancaments específics, permeten l'accés, la ventilació i la il·luminació dels espais interiors dels edificis. Son també suport d'instal·lacions del edificis.

Les parets, especialment les estructurals, per la seva varietat de prestacions són elements constructius multifuncionals.

9.3 Evolució de les parets estructurals

Originàriament, la construcció realitzada amb parets és una transposició de les coves naturals. Per aquesta raó, les primeres construccions de les quals encara resten vestigis varen realitzar-se en sec, confiant l'estabilitat al fregament entre les peces.

La troballa d'estrats calcaris primers en algunes zones va facilitar l'obtenció de peces regulars i resistents. La pràctica quotidiana es va traduir en experiència i d'aquí va sorgir la conveniència d'encavallar les peces entre elles per tal d'evitar la continuïtat dels junts i així millorar l'estabilitat del mur. L'assumpció d'aquest concepte va portar els constructors a cercar disposicions espacials de les peces constitutives del mur (aparells) en què el concepte de trava era ben present. Les fotografies de la pàgina següent corresponen a la Naveta des Tudons de Menorca (esquerra) i a una barraca de pastor del camp de Tarragona (dreta), ambdues construccions realitzades amb pedra seca, amb molts segles de diferència.

Conegudes i explotades a fons les possibilitats constructives de les parets en sec, el pas següent va ser la incorporació d'aglomerants. Els primers aglomerants van ser els que la naturalesa oferia directament, sense necessitat de cap mena de transformació: l'argila i la brea.



Un altre pas important en la evolució de les parets estructurals es va produir al evitar la dependència directa de les pedra. El contacte amb la terra i el fet de veure els canvis físics que aquesta experimentava en presència d'aigua van portar les civilitzacions mesopotàmiques a experimentar i a construir amb peces de fang anomenades *toves*. Aquestes es caracteritzen pel seu petit format, per la barreja del fang amb fibres vegetals per obtenir major consistència i per col·locar-se en obra sense cocció un cop assecades al sol.

Una variant del sistema constructiu amb fang i fibres vegetals és la tàpia. Consisteix a omplir, per tongades, un motlle format per dos taulers de fusta, separats entre si per l'amplada que es vol donar a la paret. A continuació, es poden apreciar i comparar ambdues tècniques constructives: a l'esquerra, es mostra un edifici construït amb tova; a la dreta, un altre realitzat amb tàpia.



Els morters de calç, procedents de la calcinació de la pedra calcària per part de l'home, són coneguts des del neolític (7.000 a. de C.). Des d'aleshores fins l'actualitat, totes les civilitzacions els han utilitzat com a aglomerant de les fàbriques realitzades amb materials petris i com a revestiment per millorar l'acabat dels edificis.

El darrer gran canvi pel que respecta les parts estructurals de fàbrica es produeix l'any 1824. Joseph Aspdin va patentar el ciment pòrtland, el primer aglomerant hidràulic obtingut científicament a partir de pedra calcària i argila, sense dependre de les característiques específiques de les pedres d'un lloc determinat.

A partir de mitjan segle XIX, els morters de ciment pòrtland i els seus derivats allunyen la calç del seu paper hegemònic com a aglomerant de construcció. Pel



que respecta a les tècniques de construcció de les parets estructurals la aparició del ciment pòrtland no suposa canvis substantius més enllà del increment de la capacitat resistent i la major rapidesa d'enduriment.

Les funcions dels aglomerants en una paret estructural són molt diversos:

- Des del punt de vista estructural, n'incrementen la capacitat resistent. El aglomerant, per la seva plasticitat, omple tots els racons i dona continuïtat a tota la seva secció. Com més gran és la secció, menor és la tensió a igualtat de càrregues.
- Eviten la concentració de tensions derivades de contactes puntuals entre els materials de la paret, que podrien acabar fracturats. L'aglomerant actua com un coixí entre les peces que la conformen. Per aquesta raó, es recomana que la seva tensió de trencament se situï entre la meitat i les dues terceres parts de la capacitat resistent del material de base.
- Milloren la capacitat aïllant en convertir les parets en impermeables a l'aire i a l'aigua.
- Aplicats sobre els paraments en forma de revestiment, incideixen sobre l'aspecte i la qualitat estètica dels edificis.

9.4 Les aportacions dels romans. La paret de doble cara i el formigó de calç

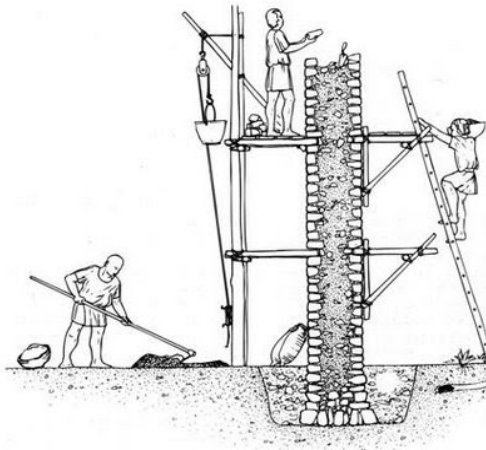
És ben coneguda la capacitat dels romans com a constructors i el seu pragmatisme en incorporar tècniques constructives orientals i de les civilitzacions grega i etrusca.

Les seves aportacions a la construcció responen als principis de racionalització i reducció d'esforços, els quals aniran associats a la història de la construcció. Segles més tard, l'arquitecte Mies van der Rohe (1886-1969) resumirà aquests principis amb la cèlebre frase "menys és més".

Dues són les aportacions fonamentals dels romans pel que fa a les parets estructurals: la paret de doble cara i la construcció de parets i voltes amb formigó de calç.

La tècnica constructiva de la paret de doble cara permet construir murs gruixuts i resistents a partir de la formació de dues cares exteriors ben acabades, travades a trams regulars per peces passadores. L'espai entre les dues cares s'omple amb formigó de calç, realitzat amb els detritus generats en carejar les pedres (gràfic esquerra de la pàgina següent).

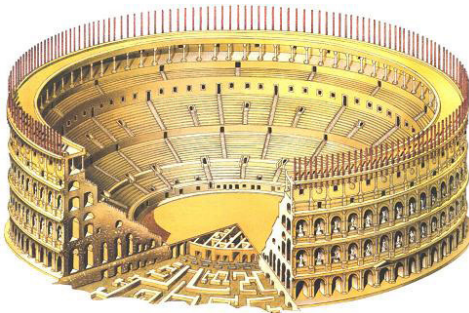
Els romans van crear un munt d'aparells per construir murs de doble capa, anomenats *opera* (en singular, *opus*): l'*opus isodomon*, l'*opus spicatum*, l'*opus reticulatum* (foto dreta de la pàgina següent) o l'*opus latericium*, aquest darrer realitzat amb totxos ceràmics. En aquestes parets, es treballa amb residu zero, i l'esforç derivat de tallar i elevar grans pedres es redueix substantivament.



La paret de doble cara es mantindrà, amb aprimaments successius com a conseqüència de l'experiència empírica, fins al segle XIX, en què serà substituïda per les fàbriques de totxo massís.

El formigó de calç, a més de servir per omplir els espais entre les dues cares de les parets, els romans el van emprar per realitzar arcs i voltes massius, abocant-lo en motlles de fusta (encofrats i cintres) preparats a l'efecte. Aquesta tècnica permetia realitzar grans construccions modulades i repetitives amb mà d'obra poc especialitzada, com ara teatres, amfiteatres o termes, en què el treball mecànic dels elements constructius es limitava a la compressió.

El gràfic inferior esquerra permet apreciar la estructura de voltes del Coliseu de Roma. La fotografia de la dreta mostra una volta de la galeria d'accés al teatre romà de Gades (Cadis) realitzada amb formigó de calç.



9.5 Alguns elements constructius de les parets

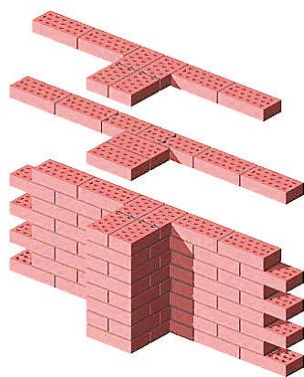
A continuació, es detallen alguns dels elements constructius més usuals dels murs de fàbrica:



Parament. Cadascuna de les cares de les parets. Si una de les cares dóna a l'exterior s'anomena *façana*. Els paraments poden estar revestits o no amb estucs o aplacats. Per extensió, el concepte de parament també es pot referir a la superfície d'una volta.

Pilastra. És el recrescut de la secció resistent en una zona del mur, seguint les regles de l'aparell, per tal de reforçar-lo o per rebre una càrrega provinent d'una biga o d'una volta (gràfic inferior esquerre).

Mur apilastrat. És aquell que conté dins seu pilastres disposades a trams regulars amb funcions estructurals.



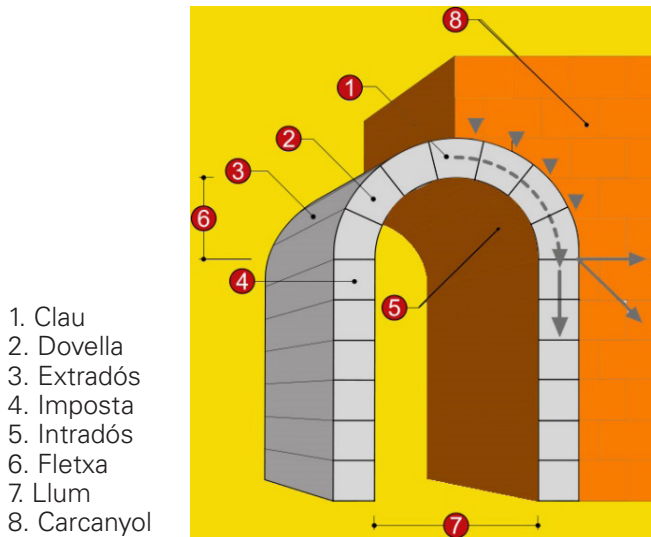
Pilar. Element de fàbrica aïllat, realitzat segons un aparell específic, dissenyat fonamentalment per suportar càrregues de compressió. La seva secció acostuma a ser quadrada, propera a la quadrada o circular (fotografia superior central). En aquest darrer cas, també es pot anomenar columna, especialment si disposa de parts diferenciades, com el basament, el fust i el capitell (fotografia superior esquerra).

Finestra. Obertura de la façana, protegida per un ampit, que permet la il·luminació i la ventilació de l'estança a la qual serveix. Habitualment, disposa d'un sistema de fusteria per suportar l'envidrament i sistemes addicionals per enfosquir i/o ventilar l'interior de la peça a la qual està vinculada.

Balconera. Obertura de la façana que permet l'accés a terrasses i a balcons.

Brancal. Cadascun dels extrems verticals d'una obertura en un mur: porta, finestra o balconera. Els brancals suporten, segons els casos, una llinda, un arc de descàrrega o els dos elements superposats.

Arcs. Elements estructurals plans, de perfil corb, de l'amplada de la paret en què estan integrats. Permeten salvar amb seguretat l'espai entre dos brancals. Poden ser de pedra o de totxo. Les peces que els conformen s'anomenen *dovelles*. Treballen a compressió i per fricció entre les seves dovelles generant empentes sobre les parets que els contenen. El gràfic següent detalla les parts més significatives d'un arc.



1. Clau
2. Dovella
3. Extradós
4. Imposta
5. Intradós
6. Fletxa
7. Llum
8. Carcanyol

Arcs de diafragma o diafragmàtics. Són una solució enginyosa, emprada des de temps immemorial, per cobrir grans sales en zones, com l'àrea mediterrània, on manca fusta de grans dimensions.

Els arcs diafragmàtics salven l'espai entre les parets laterals de la nau. Les parets on se situen els arcs s'acaben a dues aigües. Aquestes parets es disposen a distàncies regulars (entre 4 i 5 m, la mida útil d'un tronc corrent), perpendicularment a l'eix longitudinal de la sala. Col·locant les bigues de fusta sobre el coronament del mur, queden resolts els pendents de coberta sense haver d'emprar encavallades ni grans escairats de fusta.

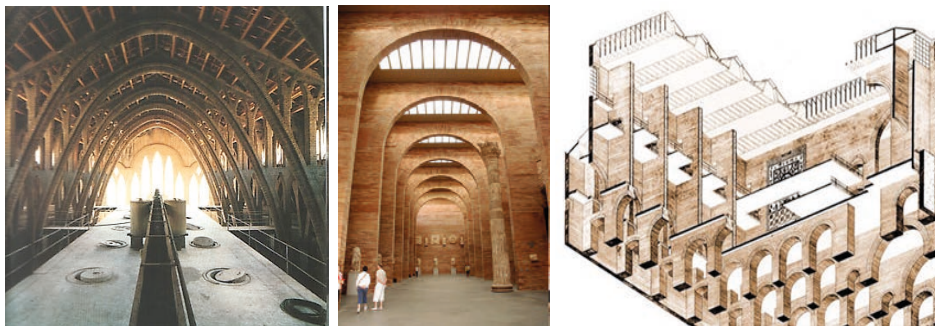
Els arcs de diafragma són molt comuns en el gòtic català, com ara als dormidors dels monestirs de Poblet (fotografia inferior esquerra) i Santes Creus (dreta).



Durant el modernisme, varen ser emprats per Antoni Gaudí i el seu deixeble Cèsar Martinell, entre d'altres, per exemple al celler del Pinell del Brai (1917)



(fotografia inferior esquerra). El Museu Romà de Mèrida, obra de Rafael Moneo, inaugurat l'any 1986, també està construït amb arcs de diafragma, per evocar la construcció romana i posar de manifest que una tècnica constructiva antiga pot tenir cabuda en un edifici modern (fotos inferiors central i dreta).



9.6 El totxo ceràmic com a material de construcció de parets estructurals

El totxo ceràmic és, sens dubte, el disseny industrial per a la construcció més antic i amb més èxit de la història, per la seva durabilitat, resistència, ergonomia (per dimensions i pes, està fet per a ser manipulat amb una sola mà), adaptabilitat dimensional (es pot tallar fàcilment amb un cop de paleta) i versatilitat (permet realitzar parets i pilars de diferents gruixos, i decoracions i relleus a base de filades sortides o col·locats a punta de diamant).

Hi ha dos formats de totxo: l'anomenat *mètric*, de $25 \times 12,5 \times 5$ cm, i el català, de $29 \times 14 \times 5$ cm.

En endavant, ens referirem al format català. Altres formats són el *maó mitjà*, de 2,5 cm de gruix, i el *rajol*, d'1,5 cm de gruix. Pel seu pes menor, es fan servir preferentment per a la realització de voltes i taulers: els rajols, per al senzillat, i els mitjans, per al doblat. A més, hi ha un tipus especial de totxo anomenat pitxolí, que fa $29 \times 10 \times 5$ cm.

Les cares del totxo s'anomenen:

- Pla o post, la major, de 14×29 cm
- Cantell, la mitjana, de 29×5 cm
- Testa, la petita, de 14×5 cm

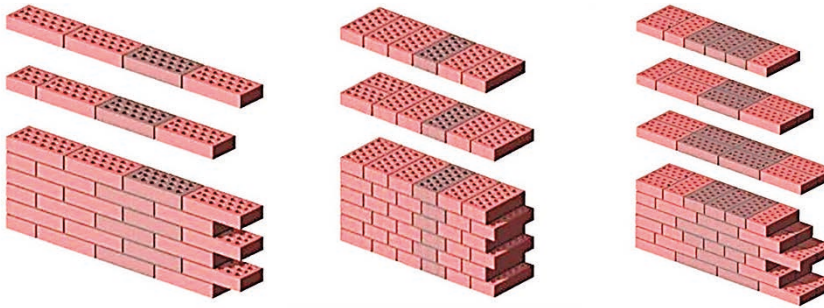
Pel que fa a les arestes:

- Llarg, de 29 cm
- Través, de 14 cm
- Gruix, de 5, 2,5 i 1,5 cm

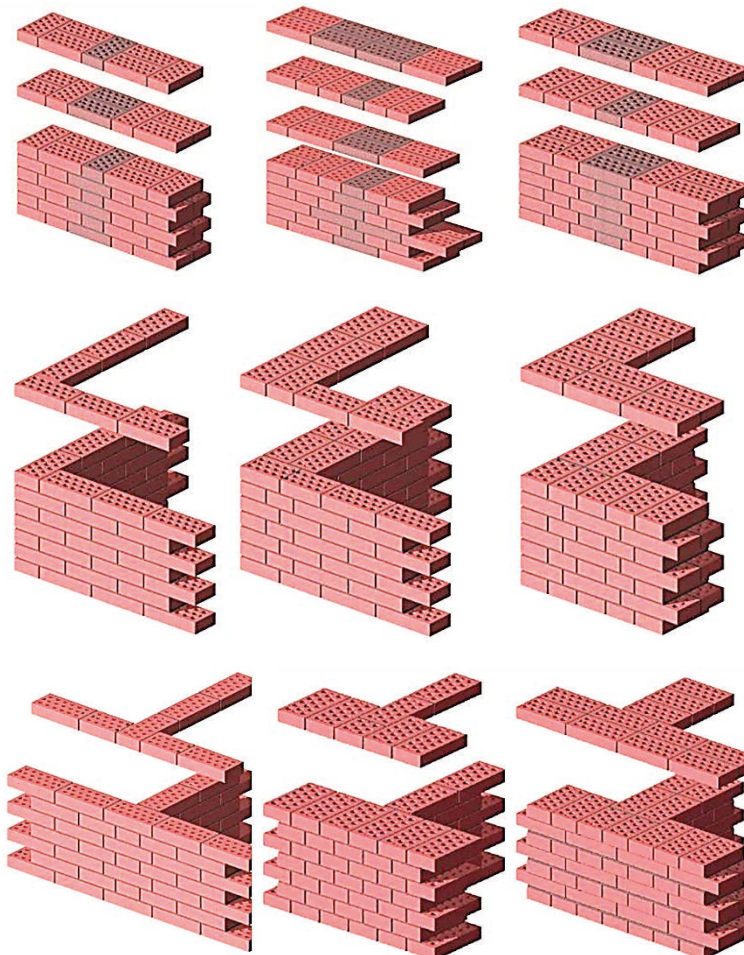
A l'obra, els totxos per fer parets estructurals es col·loquen seguint aparells diversos, contactant de pla les filades al llarg o al través, segons la disposició que correspongui al tipus d'aparell emprat: anglès, gòtic o flamenc, holandès, etc.

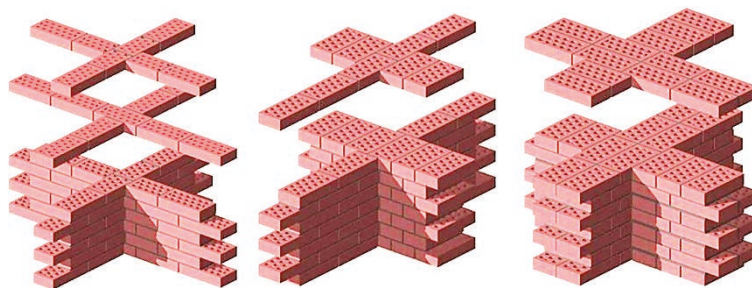


Els gràfics següents mostren, d'esquerra a dreta, l'aparell al llarg, al través, i al llarg i al través, també conegut com a *aparell anglès*.



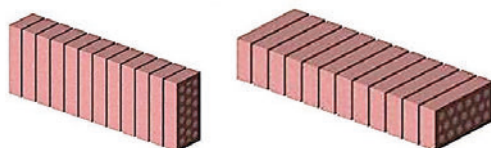
Els gràfics inferiors corresponen, d'esquerra a dreta, als aparells gòtic o flamenc, anglès en creu i holandès. En tots ells, s'indica la filada parella i la imparella, per tal de trencar junts entre filades.





Els gràfics anteriors corresponen a solucions de cantonada, d'encontre i d'encreuament de murs.

Els totxos que es col·loquen recolzats sobre el cantell o la testa s'anomenen "a plec de llibre" (gràfic inferior esquerre). S'utilitzen com a acabat de parets i per realitzar arcs i voltes. Quan un arc o una volta presenten diversos gruixos de totxo a plec de llibre, cadascun d'ells s'anomena rosca. La fotografia de la dreta mostra els arcs d'un refugi antiaeri construït durant la Guerra Civil a Villanueva de Córdoba i és un exemple de la confiança que continuava inspirant aquest sistema constructiu, arran de la seva utilització a les fortaleses durant els segles XVII i XVIII.

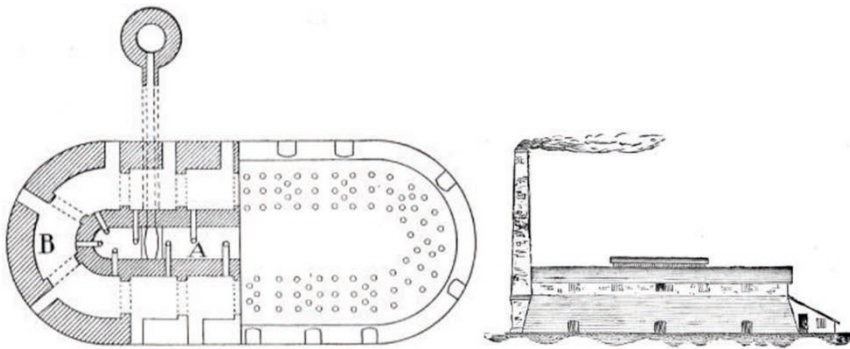


Amb totxos posats de cantell un damunt de l'altre, respectant sempre el trencament de junts, es poden realitzar envans. Aquests, per la seva esveltesa, no tenen capacitat portant.

9.7 La irrupció del totxo en la construcció catalana. La paret prima

El totxo ceràmic, com a base per a la realització de parets estructurals, era un material de producció artesana, relativament car i poc fiable per les seves prestacions mecàniques fins a mitjan segle XIX.

A partir d'aquesta època, els totxos es comencen a produir industrialment en bòbiles equipades de forns d'anell tipus Hoffman. Aquest tipus de forn es caracteritza per una producció contínua del procés de d'assecatge, cocció i refredament, i ofereix una qualitat molt més homogènia de totxos de diferents gruixos i formats, a més de teules i peces per a paviments (gràfic de la pàgina següent).



La producció de ceràmica per a la construcció viu la seva època daurada entre 1860 i 1960. El desenvolupament científic de l'època permet realitzar assajos de caracterització dels materials, determinar els paràmetres i els criteris per establir valors de tensió acceptables per a les fàbriques i aplicar-los al disseny d'elements constructius i de models estructurals.

A Barcelona, al barri del Raval i al primer Eixample, a partir de 1860 es desenvolupen unes tècniques constructives basades en el totxo ceràmic que són conegudes com a "ram de paleta".

Els mestres d'obres i els arquitectes, formats a partir de 1871 a l'Escola Provincial d'Arquitectura, desenvolupen els seus models d'edifici comptant amb el totxo ceràmic com a primera matèria, en les seves diverses variants.

Façanes de 30 cm de gruix i parets de 15 cm de gruix, combinades amb sostres de bigues de fusta o metàl·liques i revoltons, permeten edificar cases de cinc i sis plantes, moltes de les quals porten ja més de cent anys en servei. Enlloc del món no es construeix de forma tan agosarada durant aquesta època.

El clima benèfic de Barcelona i la seva baixa sismicitat ajuden a "validar" la tècnica constructiva i els models edificatoris que se'n deriven. Els seus déficits de seguretat estructural i d'aïllament queden palesos avui.

Cal destacar l'economia de mitjans que comporta el sistema estructural de parets primes. Un edifici podia ser realitzat, excepte la fusteria, les instal·lacions i la pintura, per un equip reduït d'oficials de paleta, auxiliats pels seus manobres, al capdavant del qual hi havia un encarregat o un mestre d'obres, amb una llarga experiència i coneixement de l'ofici.

Cada paleta disposava de les seves pròpies eines, de les quals tenia cura personalment i n'estava orgullós: la gaveta, per pastar el morter; la paleta, per tallar els totxos, posar el morter i recollir el sobrant; el paletí, per arribar a les cantonades i a les zones de difícil accés; el nivell i la plomada i el cordill per pujar la paret vertical i verificar la correspondència dels junts, i la maceta i l'escarpa per obrir forats i regates.

A més de les parets, amb la col·locació corresponent dels bastiments i la formació d'obertures, els paletes realitzaven les voltes d'escala, amb dos o tres gruixos de



rajol disposats a trencajunts (fotografia inferior esquerra) i els revoltons entre les bigues, amb què elaboraven el forjat (fotografia central). També feien terrats amb taulers de tres capes de rajols, recolzats sobre envans conillers (fotografia dreta).



Pel que fa als acabats, els paletes feien els envans interiors i enguixaven els paraments verticals i els sostres. També col·locaven els paviments i els revestiments de les parets deixant l'edifici pràcticament conclòs. Amb el pas del temps, varen aparèixer, dins del ram de paleta, oficis amb personalitat pròpia, com els guixaires, els estucadors o els alicatadors, per citar-ne els més significatius.

Els elements auxiliars per desenvolupar obres amb parets primes també eren molt simples: corrioles per fer les elevacions de materials amb cabassos, i bastides fetes amb cavallets i taulons.

9.8 Alguns defectes propis de la fàbrica de totxo

Després d'exposar algunes de les virtuts de la construcció amb parets estructurals de fàbrica de totxo, ara correspon revisar-ne els defectes més comuns.

Primer, s'enumeren i s'expliquen els seus efectes i, a continuació, s'exposen les causes que els provoquen i la forma d'evitar-los i/o corregir-los.

Els defectes que principals són els següents:

- Eflorescències
- Humitats per capil·laritat
- Humitats per filtració
- Humitats de condensació
- Presència de nòduls de calç
- Efectes de les gelades
- Efectes higrotèrmics

Eflorescències

Es manifesten en forma de taques blanquinoses sobre els paraments. Les eflorescències són conseqüència de la dissolució de sals dins la fàbrica de totxo per efecte de la pluja. Aquestes sals acompanyen l'aigua cap a la superfície del totxo durant el procés d'evaporació, on s'acaben dipositant. Poden provenir del propi totxo, del morter o del contacte amb el sòl. No constitueixen cap problema estructural, però sí estètic. Es poden eliminar amb un raspallat i els seus efectes desapareixen o s'atenuen impermeabilitzant la fàbrica (fotografies següents).



Humitats per capil·laritat

La capil·laritat és un fenomen físic per mitjà del qual es produeix l'ascens o el descens d'un líquid per un tub molt prim en funció de la seva tensió superficial. En el nostre cas, es tracta d'aigua, habitualment procedent del subsòl, que ascendeix pel sistema de porus d'una fàbrica de totxo.

Com a conseqüència de les humitats per capil·laritat, poden aparèixer taques, eflorescències i despeniments de la pintura i dels revestiments (fotografies inferiors). Aquests defectes no tenen importància estructural per si mateixos, sempre que no es produeixin simultàniament amb les gelades.



Existeixen al mercat diversos sistemes per acabar amb les humitats per capil·laritat, els quals es basen, d'una manera o altra, a crear una barrera fisico-química que impedeixi el pas de l'aigua, la injecció de resines o l'aplicació del mètode d'electroòsmosiforesi.

Humitats per filtració

Són aquelles en què l'aigua travessa la paret de forma transversal per acumulació d'aquesta a la cara exterior del mur. Es manifesten en forma de taques similars a les humitats per capil·laritat. Cal actuar establint mesures per evacuar l'aigua i impermeabilitzar el mur (fotografia inferior esquerra).



Humitats de condensació

Es produeixen per manca d'aïllament tèrmic del parament, raó per la qual aquest està molt més fred que l'aire interior de l'edifici. En aquestes circumstàncies, el vapor d'aigua es diposita sobre el parament en forma líquida. Apareixen taques i fongs de color negrós (fotografia inferior dreta). Per corregir aquest tipus d'humitat, cal incrementar l'aïllament tèrmic del parament i ventilar regularment les peces per tal d'assecar els paraments.



Presencia de nòduls de calç

A vegades, les argiles contenen petits fragments de carbonat de calci. En efectuar-se la cocció, aquest es transforma en calç viva dins la massa dels totxos. En presència d'aigua, la calç viva incrementa el volum, exerceix una força expansiva i malmet la superfície dels maons. Aquests problemes i d'altres, com les eflorescències o la sensibilitat a les gelades, s'han d'evitar en origen, fent els assaigs de laboratori corresponents (fotografia inferior esquerra).

Efectes de les gelades

Les gelades afecten més els totxos més porosos. En gelar-se, l'aigua exerceix un efecte expansiu que, repetit en molts cicles, acaba exfoliant-los i fragmentant-los (fotografia inferior dreta). En funció de la climatologia de la zona, serà transcendental escollir totxos certificats com a no sensibles a les gelades.





Efectes higrotèrmics

Els efectes continuats de canvis d'humitat i de temperatura provoquen fenòmens d'entumiment i de retracció, l'augment i la reducció dels volums. Es tradueixen en tensions en el si de la fàbrica, que es poden manifestar en forma de fissures en les peces i en la degradació dels morters (fotografies inferiors). Aquests fenòmens es poden controlar en un laboratori per fer anàlisis estadístiques sobre la capacitat d'absorció i de succió dels totxos.



La previsió en el disseny de les juntes de dilatació i de les juntes de treball són recursos tècnics per minimitzar, a l'obra, els efectes higrotèrmics sobre la fàbrica.

9.9 Un model de llarga tradició, elaborat amb fàbrica de totxo estructural. La casa de renda a Barcelona i els seus condicionaments

Si bé els primers models de casa de renda s'experimenten al Raval, el paper que juga l'Eixample de Barcelona en el seu desenvolupament és evident. Aquests models han estat estudiats a bastament, entre d'altres, pels professors Pere Giol Draper i Antoni Paricio Casademunt, de la UPC.

L'any 1860, se'n va posar la primera pedra i, a partir de la dècada de 1870, l'Eixample va començar a experimentar un gran creixement i es va convertir en un gran laboratori experimental de les tècniques constructives realitzades amb totxo.

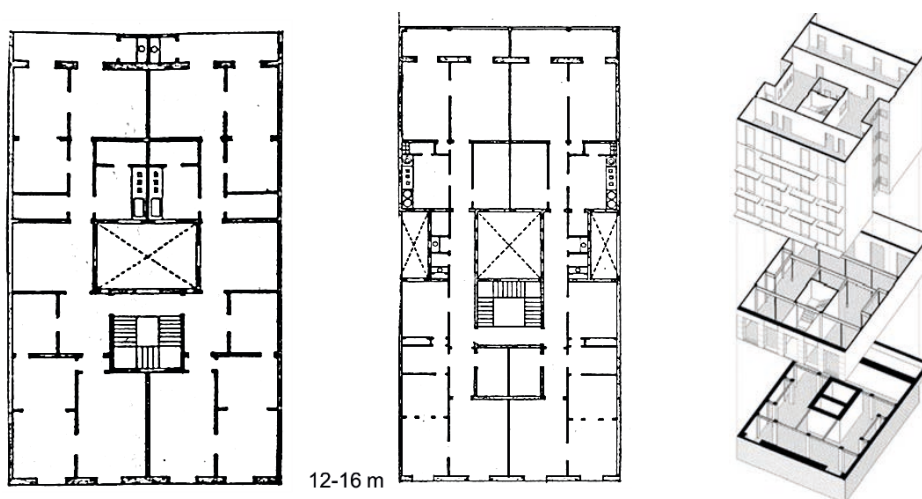
Amb la seva posada en servei, propietaris i arquitectes disposaven d'un nou espai urbà on volien implantar un model d'edifici capaç de donar resposta a les idees de progrés, funcionalitat, salubritat i confort que la Ciutat Vella, envoltada de muralles i de carrers estrets, no podia oferir. A més, havia de ser durador, per poder-ne obtenir beneficis al llarg del temps, que compensessin la inversió inicial.

L'obertura dels carrers i les normes urbanístiques varen delimitar, al llarg del pla de Barcelona, els espais privats aptes per edificar i els d'ús públic. Els espais que procedien dels camps de conreu o sense ús de propietat privada es varen reparcel·lar per tal d'adaptar-los dimensionalment al nou model.

L'edificació pròpia de l'Eixample en illa tancada amb pati interior comporta incidir en els aspectes següents:

- Regular la construcció de les parets mitgeres i els seus fonaments.
- Definir la fondària edificable i l'altura reguladora.
- Establir uns criteris per garantir la seguretat i la salubritat dels edificis, i unes dimensions mínimes per als patis, en funció de l'altura.
- Garantir una superfície mínima de ventilació per a cada peça, en funció de la seva superfície.

Les accions indicades, ampliades i perfeccionades amb el temps fins a constituir un corpus tecnicolegal complex, s'orientaven a garantir la igualtat de drets i deures de tots els propietaris del sòl. Basant-se en elles, la casa de renda es configura a partir de solars d'entre 12 i 15 m de façana i de 20 m de fondària edificable, per tal de disposar, inicialment, de dos habitatges per planta, amb ventilacions encreuades i un pati interior per ventilar l'escala i els serveis. Els gràfics inferiors corresponen a dues plantes arquetípiques.



L'increment de les fondàries edificables per sota dels 25 m i unes façanes que difícilment superaven els 20 m, en edificis servits per una sola escala, va permetre realitzar, posteriorment, models constructius de fins a quatre habitatges per planta. En aquest cas, els patis assoleixen una bona part de la ventilació i ofereixen una pobre il·luminació natural.

La capacitat per adaptar-se a usos diversos, en funció de les plantes, és una altra de les característiques del model. Es tracta que la planta baixa sigui tan diàfana com sigui possible, per tal de dedicar-la a magatzem, a taller o a comerç. En canvi, les plantes superiors estan molt compartimentades amb envans, per generar-hi dormitoris i les altres dependències pròpies d'un habitatge. La perspectiva axonomètrica anterior mostra l'organització espacial tipus de les plantes baixa i pis i, a més, incorpora un soterrani, fet no gaire freqüent.



La disposició espacial indicada implica la necessitat d'estintolar les parets de càrrega per sobre del nivell del sostre de la planta baixa. Els procediments emprats per fer-ho varien amb el temps.

En els primers models, els estintolaments de les plantes superiors es resolien amb arcs i pilastres; posteriorment, els pilars de fosa i les bigues de fusta prenen el relleu; en una tercera etapa, els pilars i les bigues compostes d'acer laminat aconsegueixen la mateixa funció; més endavant, els perfils compostos són substituïts per pilars de formigó i jàsseres metàl·liques, i, en les etapes finals, el formigó armat pren el relleu, gràcies a la seva millor resistència al foc.

Hi destaca la primera planta, anomenada principal, que és tractada de forma singular perquè està destinada al propietari de l'edifici. A tall d'exemple, la fotografia de l'esquerra reproduïx un tram del passeig de Gràcia en què es pot apreciar, d'esquerra dreta, una part de la Casa Lleó Morera i, al centre, la Casa Mulleras. La fotografia de l'esquerra correspon a la Casa Fuster, actualment convertida en hotel.



Els primers edificis no disposaven d'ascensor, de manera que la renda i la qualitat dels acabats decreixien amb l'alçada. Tanmateix, l'aparició de sistemes d'elevació eficients ha capgirat la situació, de manera que actualment els habitatges més apreciats són els alts, perquè disposen de més sol, més llum i menys soroll que els situats a nivell de carrer.

Fins al final dels anys seixanta del segle xx, malgrat que es van incorporar al model millores per garantir-ne el confort, com aparells elevadors a tots els edificis de més de tres plantes, la producció d'aigua calenta sanitària i cuines de gas i elèctriques, la construcció encara es governava per l'empirisme i la tradició, amb l'excepció del càlcul estructural.

El marc normatiu estava molt poc desenvolupat. Als primers moments de l'Eixample, en no poder-se subministrar l'aigua directament des de la xarxa, calia recórrer als dipòsits situats en dependències construïdes sobre els terrats. Els dipòsits ocasionaven fuites i problemes de salubritat, entre d'altres. No es prestava atenció a aspectes tan fonamentals en la construcció actual com els aïllaments tèrmic i acústic, l'accessibilitat, el reciclatge o el respecte al medi ambient.

La gran sacsejada que va portar a introduir una nova manera d'entendre la construcció, amb nous models d'habitatge, es va produir durant l'anomenada "primera crisi del petroli", l'any 1973.



Vist amb la perspectiva que ofereixen els anys, la desaparició progressiva, al llarg dels anys seixanta, dels models d'edifici realitzats amb estructura de parets primes de fàbrica de totxo, va donar lloc al nostre país, en les dècades següents (de 1970 a 2007, any de l'explosió de la bombolla immobiliària), a models d'edificis conceptualment mal resoltos, en els quals es tractava de mantenir, a tota costa, la tradició del totxo ceràmic aplicada en estructures de formigó dissenyades amb llums cada cop més grans. Els problemes de compatibilitat entre elements portants i portats pel que fa a les deformacions i els efectes higrotèrmics són consubstancials a aquest model.

El Codi tècnic de la edificació (CTE), en vigor des de 2006, introdueix un sistema de requisits que l'edifici ha de complir segons les prestacions derivades del seu disseny i els elements constructius que el conformen com un tot. La incorporació, l'any 2013, de requisits més estrictes pel que fa a l'aïllament tèrmic possiblement ajudarà a decantar algunes solucions constructives que han quedat obsoletes, en benefici d'altres de més fiables. Lamentablement, l'atonía del mercat immobiliari no permet, de moment, experimentar i perfeccionar nous models constructius.

9.10 Exigències bàsiques dels models estructurals de paret prima

La construcció s'ha caracteritzat pel seu caràcter artesà, imposat per la singularitat del producte i per les seves limitades possibilitats materials i tècniques, al llarg de gran part de la seva història.

En general, les tècniques constructives tradicionals són molt senzilles: consisteixen en l'addició de peces naturals o artificials, relativament petites, per conformar amb elles l'element constructiu desitjat i, a partir d'elles, bastir l'edifici.

Construir amb totxo és tecnològicament molt senzill. Tanmateix, per fer-ho bé i desenvolupar un model tan complex com una casa de renda barcelonina, calia disposar d'una mà d'obra molt capacitada.

A continuació, es detallen les exigències a què responien originàriament els models constructius realitzats amb parets primes. L'evolució en el temps es va traduir en la transposició a d'altres models (blocs aïllats, hotels) que, en moltes ocasions, no conservaven la tradició ni el sentit constructiu, i estaven totalment mancats de cap marc normatiu. Així, es varen anar eliminant parets de travesa i construint edificis de més altura fins que l'any 1965 es va produir, en la fase de construcció, el col·lapse de l'Hotel Taurus de Pineda de Mar.

La regulació de la construcció d'estructures de fàbrica de totxo no es va produir fins a l'any 1972, quan es va publicar al BOE la norma MV-201. La darrera regulació de la construcció estructural amb fàbrica de totxo, abans del CTE, és la NBE-FI-90, apareguda en una època en què els edificis construïts amb estructures de totxo eren absolutament minoritaris.

L'execució correcta del model tradicional requeria un ús especialitzat de les diferents peces ceràmiques. El totxo de 5 cm de gruix es destinava a la construcció de murs de càrrega i, posat de cantell, a la formació d'envans. El totxo mitjà



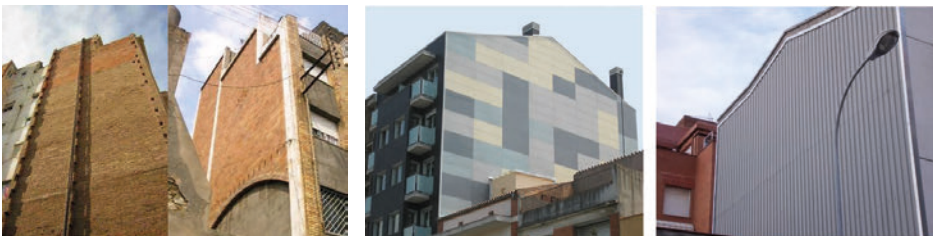
servia per fer doblats de voltes i taulers. El rajol s'emprava en la construcció de voltes de tota mena, incloses les d'escala i els revoltos, i també servia com a paviment i per fer la solera dels terrats.

El fet d'emprar totxos de format català en comptes del format mètric ofereix un plus de capacitat resistent als murs. S'utilitzaven aparells que respectaven escrupolosament les lleis de travesa. El disseny arquitectònic de les plantes tenia en compte les necessitats constructives. Incloua murs de travesa a distàncies regulars, perpendiculars als murs de càrrega. La formació de caixes d'escala i patis contribuïa a fer monolític el conjunt i a donar-li rigidesa.

La limitació tècnica de l'època incidia en la forma de fonamentar i de construir les parets mitgeres. Com que llavors no es disposava de formigó armat amb capacitat per treballar a flexió i absorbir les excentricitats derivades de la mitgeria, els fonaments de les parets mitgeres s'havien de fer comuns, igual que la paret, fins al primer sostre.

Les parets mitgeres al descobert s'havien de protegir de la pluja amb un envà subjectat entre les pilastres amb uns queixals que es disposaven a l'efecte en trams regulars (fotografia inferior esquerra). Aquests envans ventilats per la part superior i la inferior i a la zona central del parament s'anomenen envans pluvials (fotografia a la dreta de l'anterior).

Actualment, els envans pluvials han estat substituïts per panells de materials diversos, com ara xapa lacada, fibrociment o materials de síntesi que ofereixen un bon acabat superficial i donen cobertura a un aïllament tèrmic que garanteix el confort interior amb un consum reduït d'energia, com s'observa a les dues fotografies de la dreta.



El pas del temps i les aportacions de la indústria química varen depurar el model. Així, el terrat a la catalana va ser substituït progressivament per solucions amb impermeabilitzants, i els sostres de bigues de fusta o metàl·lics varen deixar pas als de biguetes de formigó armat o pretesat amb cassetons ceràmics.

Si bé als edificis de tipus industrial era habitual deixar el totxo vist per raons d'economia, als edificis residencials la tònica era revestir les parets del pati i de les façanes amb estucs de calç. També s'hi empraven els esgrafiats, els revestiments de ceràmica i el trencadís, cosa que va conformar una ciutat policroma d'una personalitat tan forta que, en conjunt, l'Eixample de Barcelona és un focus d'atracció turística internacional.



La fotografia inferior esquerra següent, exemple d'un interessant exercici d'arquitectura industrial amb totxo vist, correspon a l'antiga fàbrica Ca l'Aranyó, que actualment ha estat rehabilitada i s'ha incorporat al campus del Poble nou de la UPF. La fotografia de la dreta mostra un detall dels esgrafiats de la Casa Llopis Bofill, situada a la confluència dels carrers de València i Bailèn de Barcelona.



9.11 Les noves aportacions de la indústria ceràmica

A partir dels anys vint del segle xx, la indústria ceràmica, gràcies a la gran demanda, va experimentar canvis substancials, amb l'aportació de nous formats de totxos sorgits de l'extrusió de les pastes d'argila a través d'uns motlles anomenats "galleteras". L'adopció d'aquesta tècnica de fabricació comporta:

- Alleugerir la densitat aparent dels totxos, que de 1.800 kg/m³ passa a 1.500 kg/m³ en els totxos perforats i a 1.200 kg/m³ en els totxos foradats. Les seccions resistents dels totxos estan formades per addició amb parets relativament primes.
- Incrementar la resistència de la ceràmica en estar més compactada la seva massa. A més de la pressió, durant el procés de fabricació s'hi afegeix el buit. L'eliminació d'aire incrementa la compacitat en el si de les peces. Les parets primes faciliten una millor cocció de l'interior de la massa.
- Poder augmentar les mides de les peces sense renunciar a la possibilitat de manipular-les amb una sola ma. És el cas de les totxanes, de 29 × 14 × 9 cm, amb forats al seu llarg, i dels maons calats, totxos perforats al seu través. Posteriorment, aquesta tècnica, juntament amb un control acurat de les pastes, ha permès fabricar totxos de gran format amb toleràncies dimensionals molt estrictes per realitzar envans o soleres, és a dir, per a usos no estructurals. Actualment, han estat reemplaçats pels envans d'estructura metàl·lica i per plaques de cartró guix.



- Les fotografies següents mostren el procés actual de fabricació dels totxos. A l'esquerra, la "galletera" fa l'extrusió al buit de la pasta ceràmica. Al centre, es mostren els motlles per fer totxanes. A la dreta, s'observa un forn túnel, que permet realitzar, de forma contínua, l'assecatge, la cocció i el refredament dels totxos, amb una gran eficiència energètica.



9.12 La Termoarcilla®

La darrera aportació de la indústria ceràmica a la construcció de parets estructurals és la Termoarcilla®, que són blocs ceràmics de baixa densitat que inclouen en el si de la seva massa boletes de poliestirè expandit. Durant la cocció, aquestes es volatilitzen i alleugereixen la massa deixant al·vèols no connectats que n'incrementen l'aïllament tèrmic.

Els primers experiments per desenvolupar la Termoarcilla® es varen realitzar a Alemanya l'any 1966. A Espanya, el producte es va començar a comercialitzar el 1990. La Termoarcilla® es plantejava com un producte monocapa d'estalvi, enfront de les parets multicapa amb aïllament tèrmic al seu interior. Les seves prestacions complien els requisits de la NBE-CT-81, però no els requisits actuals.

Els blocs de Termoarcilla® tenen un disseny funcional i ergonòmic molt acurat. La fotografia inferior esquerra mostra les perforacions que permeten introduir-hi els polzes per facilitar la seva manipulació amb dues mans. En canvi, la construcció de les parets es converteix en una mena de Mecano, que requereix moltes peces específiques per resoldre les cantonades, els brancals, les llindes i els encontres, tal com es mostra a la fotografia central. La fotografia de la dreta mostra la necessitat de realitzar dues bandes de morter en els junts per garantir el trencament del pont tèrmic.



La construcció amb Termoarcilla® ha quedat descol·locada, en no complir els requisits d'aïllament tèrmic del CTE-DB-HE-1, sorgit de la reforma de 2013.

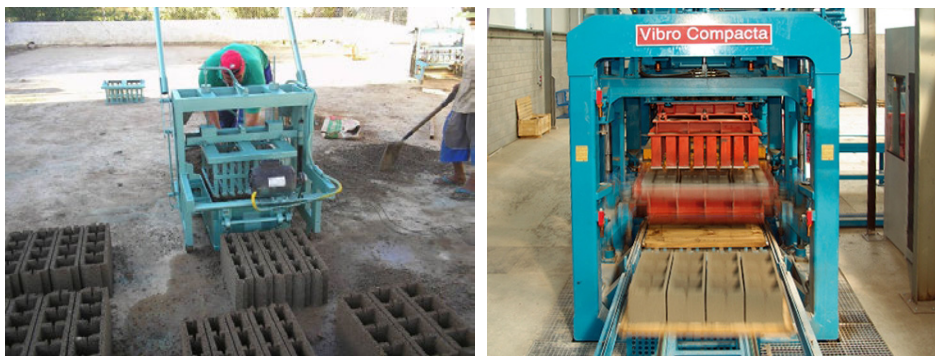


9.13 La fàbrica del bloc de formigó

Els blocs de formigó són peces de construcció obtingudes a partir de motlles. Durant el procés d'emmotllament, es pot produir, a més, una premsada de la massa. La curació de les peces es pot realitzar de forma natural o amb autoclau.

Els va desenvolupar Joseph Gibbs l'any 1850 com a alternativa més econòmica a la construcció amb pedra. Tanmateix, fou a partir de la segona meitat del segle xx que la construcció amb blocs de formigó es va consolidar com un sistema alternatiu al totxo per a la construcció de determinades estructures i tancaments. El bloc de formigó s'empra en zones on no es disposa d'argila o de la infraestructura necessària per a la seva fabricació.

La fotografia inferior esquerra mostra una màquina ponedora de blocs de formigó no estructurals. La de la dreta, una màquina amb efecte de vibració i de premsada, que permet obtenir blocs de formigó amb capacitat estructural.



Els blocs obtinguts per emmotllament simple són aptes exclusivament per realitzar tancaments, mentre que els premsats i els curats amb autoclau es poden utilitzar en la construcció d'estructures. En tot cas, la resistència característica a la compressió dels blocs estructurals ha de ser superior a 10 N/mm², mentre que la resistència del morter d'unió ha de ser pròxima a la meitat de la resistència del bloc.

El mercat disposa de tres sèries dimensionals de blocs: 40 × 20 cm, 50 × 25 cm i 60 × 30 cm, amb gruixos de 6, 7,5, 10, 12,5, 15, 20, 25 i 30 cm. Les peces estan dissenyades per poder ser manipulades per una sola persona emprant les dues mans. A tall d'exemple, un bloc de 40 × 20 × 20 cm pesa entre 12 i 13 kg.

Les dimensions dels blocs de formigó són substancialment més grans que les dels totxos. Això i el fet de ser de formigó i no de ceràmica els dona una sèrie de característiques diferencials. Construir amb blocs no és fer-ho amb "totxos grossos". Cal conèixer i respectar els seus condicionaments per tal d'obtenir bons resultats en la seva aplicació.



La fotografia esquerra següent mostra diferents tipus de blocs de formigó, emmotllats i premsats amb diferents colors i textures. També il·lustra la possibilitat d'incorporar-hi armadures. La fotografia de la dreta permet apreciar una fase de la construcció d'una paret de fàbrica de bloc.



A continuació es detallen els aspectes més característics de la fàbrica estructural de bloc de formigó en relació amb la de totxo:

La fàbrica de bloc de formigó té capacitat d'expressió formal pròpia, diferenciada de la realitzada amb totxo, per la seva diversitat de colors, textura i formats.

S'executa de forma més ràpida perquè requereix menys peces per m^2 . Un bloc de 40×20 cm equival a 5,3 totxos, mentre que un de 60×30 cm ocupa la superfície de 12 totxos.

Hi ha una reducció notable de la longitud dels junts entre peces, dels 27 ml/ m^2 del totxo als 7,5 ml/ m^2 del bloc de 40×20 .

S'economitza en el cost del preu bàsic. La fàbrica de bloc és unes deu vegades més econòmica que l'obra vista. La diferència de preu es pot arribar a reduir a la meitat si es considera la inclusió d'armats, massissats i reforços.

La fàbrica de bloc és molt més rígida que la de totxo i, per tant, és més sensible a les esquerdes. El seu mòdul de deformació és d'uns 5.000 N/mm², mentre que la fàbrica de totxo oscil·la entre els 2.000 i els 3.000 N/mm². Per evitar que les peces es fracturin, cal deixar junts sense morter, a trams regulars, per permetre els moviments de les peces, ocasionats per efectes higrotèrmics, sense que es trametin tensions.

9.14 Les fàbriques no convencionals

Les fàbriques no convencionals són aquelles que, tot i ser realitzades amb materials poc usats, com bales de palla, ampelles de vidre o de plàstic, llaunes de refresc o pneumàtics, entre d'altres materials, segueixen les regles de les fàbriques convencionals pel que fa a la utilització d'un aparell que compleix les regles relatives a trencar junts i a disposar de peces travesseres que enllacin les dues cares de la paret.



És evident que, en la majoria dels casos, ofereixen tan sols una resposta parcial a unes necessitats de supervivència que, d'altra manera, no quedarien cobertes. A tall d'exemple, la fotografia esquerra següent mostra una construcció amb bales de palla i, a la de la dreta, les parets estan realitzades amb ampolles de refresc plenes de tires de les mateixes ampolles.





→10



Estructures de barres

10.1 Introducció

En aquest capítol, s'exposen les característiques, els models tipològics i les tècniques constructives pròpies de les estructures de barres per tal de facilitar una primera aproximació al model. Les estructures de barres també s'anomenen *estructures lineals*, per la seva linealitat, entesa com el predomini de la longitud respecte a les mides de la secció transversal.

Les estructures de barres deriven del model de cabana. Es diferencien del model de cova per un procés d'evolució i d'especialització de funcions entre els elements constructius que conformen l'estructura en relació amb els que compleixen funcions de tancament.

L'especialització de funcions implica una exigència més gran de les capacitats de resistència dels materials aptes per realitzar estructures de barres. En aquest tipus d'estructura, els materials estan sotmesos a tot tipus d'esforços. Han de suportar traccions, especialment les induïdes per flexió, a més de compressions, torsions i esforços de tall.

Els materials tradicionals que compleixen aquestes propietats són la fusta, el ferro i el formigó armat. Cal tenir en compte que tant el ferro com el formigó armat són materials relativament recents: el ferro es comença a emprar en la construcció a mitjan segle XIX i el formigó armat pren carta de naturalesa entre finals del segle XIX i principis del XX. La fusta ha estat l'únic material de construcció que ha permès construir estructures de barres durant segles.

La resistència d'una estructura de barres depèn, fonamentalment, de dos paràmetres:

- **La capacitat de les barres per resistir els esforços** als quals estiguin sotmeses per disseny, d'acord amb el material emprat i la seva secció,



valors relacionats amb el mòdul elàstic o amb el mòdul de deformació, segons si es tracta d'un material elàstic o plàstic.

- **L'eficiència estructural de la solució o de les solucions constructives dels encontres entre barres.** Durant segles, aquest problema no es va resoldre de forma eficient, cosa que va minvar, en bona mesura, el desenvolupament d'aquest tipus d'estructures. Es donava la paradoxa que grans escairats de fusta depenien de la resistència dels passadors i dels encaixos que reduïen substantivament la secció original.

10.2 Discretització de les estructures de barres. Simplificació i esquematisme

És evident per a qualsevol observador que les barres d'una estructura lineal tenen diferents seccions i nusos als seus extrems que responen a comportaments mecànics específics, segons el seu disseny i la seva funció estructural.

També resulta palès que, en els contactes entre barres, es produeixen fenòmens de fregament, excentricitats causades per errades accidentals en la construcció o deformacions per efectes tèrmics, per citar els casos més significatius.

La seva consideració complicaria extraordinàriament els càlculs. Per aquest motiu, s'estableixen uns protocols de discretització en el disseny i en el càlcul de les estructures de barres, que es tradueixen en una sèrie de simplificacions i de representacions esquemàtiques:

- Substituir les barres per línies definides per la unió dels centres de gravetat de les seves seccions transversals. Aquesta simplificació comporta la necessitat de dissenyar la confluència dels eixos de gravetat de les diferents barres que conformen un nus en un punt de l'espai per tal d'evitar que hi apareguin esforços paràsits.
- Nomenar els nusos d'acord amb la seva resposta mecànica: recolzament simple, articulació i encastament o nus rígid. Aquests conceptes es defineixen a l'apartat "Tipologies i característiques mecàniques dels nusos".
- Numerar les barres i els nusos per tal de disposar de referències identificadores per a cada element.
- Simplificar en el pla les estructures espacials, per exemple en encavallades i pòrtics. La simplificació en el pla permet realitzar el càlcul manual de les estructures.
- Abordar sense problemes, gràcies a la potència de càlcul dels ordinadors, estructures espacials mitjançant el càlcul matricial o resoldre aspectes molt concrets per mitjà d'elements finits.
- Representar gràficament les accions incidents sobre les barres, els esforços gravitatoris (verticals), les empentes (horitzontals) i les càrregues puntuals i uniformement repartides, per citar els casos més significatius.



10.3 Conceptes complementaris. Llum lliure i llum de càlcul

A l'apartat anterior, s'ha fet referència a la necessitat de prescindir del gruix de les barres per simplificar els càlculs estructurals. Es generen dos conceptes nous, que adquireixen més importància com més grans són les seccions estructurals de les barres: la llum lliure i la llum de càlcul.

La *llum lliure* és la dimensió entre les cares enfrontades de dues barres consecutives. Es correspon amb l'espai físic de pas.

La *llum de càlcul* és la distància entre eixos de dues barres consecutives. És més gran que la llum lliure, raó per la qual els resultats obtinguts del càlcul són més segurs. En determinats casos, emprar la llum de càlcul pot donar uns valors excessius respecte dels reals, pel fet que els moments flectors estan regits per una llei quadràtica. L'EHE-08 els regula i estableix les situacions en què es poden adoptar seccions de referència situades a un 15 % del cantell de la peça respecte de la cara exterior. Per exemple, un pilar de formigó de 40×40 cm té l'eix a 20 cm de les cares. El 15 % de 40 cm són 6 cm; per tant, la llum de càlcul es veuria reduïda en 14 cm, pel que fa a aquest pilar.

10.4 Tipologies i característiques mecàniques dels nusos

Els nusos de les estructures de barres responen a tres tipologies:

- Recolzaments simples
- Ròtules
- Encastaments

A continuació, se'n detallen i exemplifiquen els trets més característics.

Recolzaments simples

Es caracteritzen perquè absorbeixen exclusivament una reacció vertical. No es té en consideració el fregament que es produeix en els recolzaments; per això, es discretitzen amb uns rodets.





Ròtules

També s'anomenen *articulacions* o *nusos articulats*. Tenen la capacitat d'absorbir reaccions verticals i horitzontals sense desplaçament, però permeten el gir lliure. No absorbeixen moments.

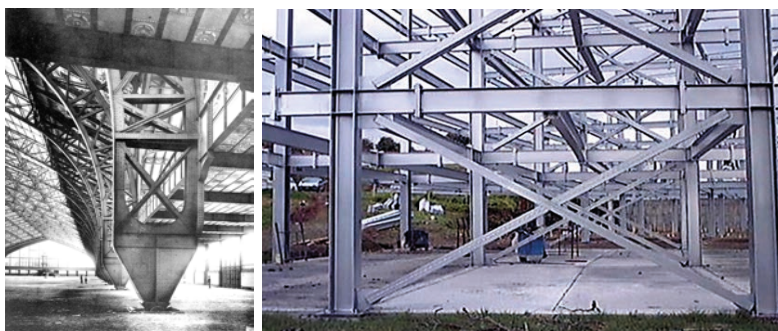
Una estructura amb nusos articulats és un mecanisme i, per tant, resulta inestable. Cal enrigidir els nusos units amb ròtules incorporant-hi creus de sant Andreu. Aquest recurs de tipus constructiu triangula l'estructura, en dos sentits, i la converteix en estable, malgrat la presència de les ròtules.

Es pretén que les barres de la triangulació treballin fonamentalment a tracció, ja que així s'aprofita al màxim la capacitat resistent del material, en no haver-hi guerxament. En disposar dues barres oposades, una d'elles sempre treballarà a tracció, amb independència de la direcció dels esforços horitzontals que puguin afectar l'edifici –vent, sisme o accions dinàmiques.

L'estabilitat de l'estructura dissenyada així queda garantida, mentre les barres destinades a l'efecte i els nusos corresponents estiguin dimensionats correctament per absorbir els esforços que s'han de resistir.

La indeformabilitat geomètrica dels triangles estabilitza les ròtules generades per les estructures de barres encreuades ortogonalment. Per a determinats materials, com ara la fusta, la fusta laminada encolada i l'acer, resulta constructivament més senzill disposar triangulacions que fer nusos rígids.

La fotografia inferior l'esquerra correspon a les ròtules de suport dels arcs de 115 m de llum de la Galerie des Machines (Exposició Universal de París 1889), dissenyats per Victor Contamin. La foto central mostra creus de sant Andreu per enrigidir els nusos d'una estructura metàl·lica i la de la dreta, la discretització gràfica d'una ròtula.



Encastament

Els encastaments, també anomenats *nusos rígids*, tenen la capacitat d'absorbir reaccions verticals i horitzontals, i moments. Els encastaments s'anomenen també *nusos hiperestàtics*, mentre que els recolzaments simples i les ròtules, sense capacitat per absorbir moments, es consideren *nusos isostàtics*. Els nusos hiperestàtics són més propis del formigó armat que de les construccions amb acer o amb fusta, que s'acostumen a resoldre amb nusos isostàtics, reforçats amb triangulacions.

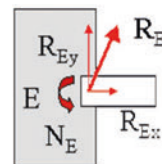


Una secció de formigó té molt més moment d'inèrcia que un perfil metàl·lic equivalent, tant perquè es tracta de peces de secció rectangular com perquè requereix un cantell superior al del perfil, factor que intervé a la tercera potència. En la comparativa, es compensa a bastament el fet que el formigó tingui un mòdul de deformació unes deu vegades inferior al mòdul elàstic del formigó.

Es pot concloure que, a igualtat de prestacions, un nus realitzat amb formigó armat és més rígid que el seu equivalent construït amb acer. Mentre el primer té la capacitat d'absorbir moments, el segon no la té o la té limitada, llevat que es prenguin mesures constructives excepcionals, molt costoses, per garantir la rigidesa del nus.

La deformabilitat o, el que és el mateix, la baixa rigidesa relativa de les barres d'acer dificulta la realització de nusos rígids. En acer, se solen fer nusos articulats o semirígids.

La fotografia inferior esquerra mostra una estructura convencional de formigó armat amb nusos rígids. La central, corresponent a l'estadi de La Peineta de Madrid, dóna idea, davant la magnitud del voladís, de la capacitat resistent a l'encastament dels nusos de formigó armat. La de la dreta mostra l'absorció d'esforços verticals i horitzontals i de moments pròpia d'un encastament.



En el cas de les estructures de fusta, tant les realitzades amb escairats naturals com les obtingudes per laminació i encolat, les unions entre barres es plantegen com a articulacions, davant la dificultat tècnica de solucionar-les amb nusos rígids. Per aquesta raó, acostumen a integrar creus de sant Andreu de fusta o resoltes amb cables d'acer, com s'observa als exemples següents.





10.5 Tipologies de les estructures de barres

En aquest apartat, es descriuen i s'exemplifiquen, amb vista a conèixer-les i classificar-les, les estructures de barres, d'acord amb l'esquema d'exposició següent:

Estructures simples de barres en el pla:

- Pilars
- Tornapunts
- Tirants
- Bigues

Estructures compostes de barres en el pla:

- Pòrtics:
 - Isostàtics. Nusos articulats (requereixen triangulacions)
 - Hiperestàtics. Nusos rígids (capacitat per absorbir moments)
- Encavallades

Estructures espacials de barres:

- Pòrtics tridimensionals.
- Pilars i sostres continus
- Exoesquelets
- Malles espacials planes de doble capa, obtingudes per triangulació
- Malles espacials de curvatura simple i de doble curvatura
- Cúpules geodèsiques

10.5.1. Estructures simples de barres en el pla

L'estructura de barres més simple és la formada per una sola barra, recolzada, articulada o encastada en un extrem o en els dos, amb la rigidesa i la capacitat portant suficients per resistir les sol·licitacions previstes en el càlcul.

En funció del tipus de treball a què la barra està sotmesa, rep noms diferents: *pilar*, si els esforços als quals fa front són fonamentalment de compressió vertical (càrregues gravitatòries); *tornapunts*, si la barra resisteix un esforç de compressió inclinat; *tirant*, si l'esforç és de tracció, i *biga*, quan la barra està sotmesa fonamentalment a flexió.

Pel que fa als seus extrems, anomenats *nusos*, un pilar es pot resoldre amb dos encastaments, amb un encastament i una articulació, amb una doble articulació, o amb un encastament i l'extrem lliure. En funció del tipus de nus dels extrems del pilar, aquest tindrà un comportament millor o pitjor enfront del guexament. El millor es dona amb doble encastament i el pitjor, amb un encastament i l'extrem superior lliure.

Un tornapunts requereix, per al seu recolzament, dos encastaments, un encastament i una articulació, o dues articulacions. El seu comportament mecànic és similar al del pilar.



Un tirant es resol amb dues articulacions, una a cada extrem. En treballar exclusivament a tracció, un eventual encastament impediria l'ajust del tirant als possibles canvis de la direcció de l'esforç.

Una biga pot descansar sobre recolzaments simples, articulacions, encastaments i combinacions d'aquest tipus de nusos. Val a dir que el concepte de recolzament simple no existeix en realitat, ja que entren en funció esforços de fregament que impedeixen el desplaçament teòric de les peces en cas d'aparèixer esforços horitzontals de baixa intensitat relativa en relació amb les càrregues verticals.

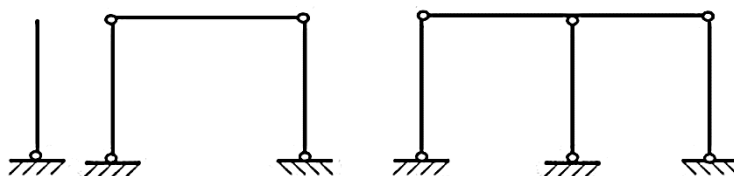
10.5.2. Estructures compostes de barres en el pla

Les estructures compostes de barres en el pla responen a dos tipus estructurals: els pòrtics i les encavallades.

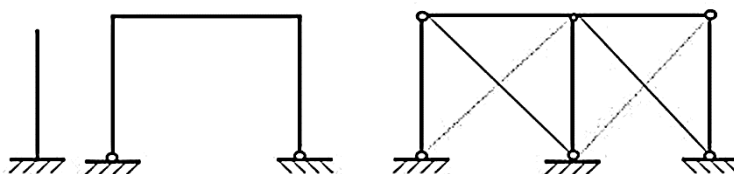
Pòrtics

Els pòrtics estan configurats per una retícula plana, habitualment ortogonal, en què es distingeixen dos tipus fonamentals de barres simples enllaçades entre si: els pilars i les bigues. La seva representació gràfica es pot realitzar amb els eixos (x, y).

Els seus nusos poden ser isostàtics o hiperestàtics. En el primer cas, han de ser enrigidits amb la incorporació de creus de sant Andreu; en el segon, els nusos generen encastaments perfectes, que garanteixen l'estabilitat de l'estructura en el pla. El gràfic següent mostra casos representatius d'estructures planes estables i inestables, en funció de les condicions mecàniques dels seus nusos.



Estructures planes inestables.



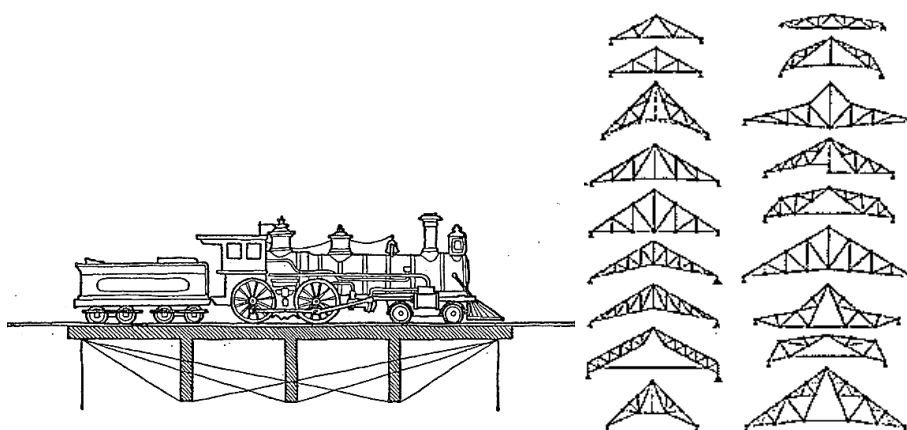
Estructures planes estables.

En general, els pòrtics plans no són sinó una simplificació de la realitat espacial de la gran majoria de les estructures per tal de facilitar-ne el càlcul. Un edifici resolt amb pòrtics plans disposa, en realitat, d'elements estructurals de connexió entre els diferents pòrtics que contribueixen a fer-lo més estable. Calcular pòrtics en el pla, a més de simplificar els càlculs, dona resultats més segurs, en no tenir en compte la contribució dels elements transversals entre els pòrtics.

Encavallades

Les encavallades són estructures planes triangulades, que estan resoltes fonamentalment amb nusos articulats. Les seves barres treballen a tracció o estan comprimides. Per aquest motiu, és relativament freqüent veure substituïdes les barres traccionades per tirants. El gràfic inferior esquerre mostra la capacitat de càrrega d'una encavallada de tirants de tipus Fink, atès que amb aquesta tècnica es van construir ponts per al ferrocarril. El gràfic de la dreta detalla diversos tipus d'encavallada.

La rigidesa de les encavallades es basa en la geometria triangulada, la resistència dels nusos i la generació de grans moments d'inèrcia, aspecte que permet salvar grans llums i resoldre cobertes, raó per la qual la majoria estan dissenyades a dues aigües.



10.6 Estructures espacials de barres

En les estructures espacials, les barres són definides no tan sols pel seu número de referència, sinó també per les coordenades (x , y , z) dels seus extrems. Aquest fet dona lloc a una gran diversitat de tipus estructurals, molts dels quals, junt amb la millora dels materials i la tècnica per resoldre els nusos, generen models de gran eficiència.

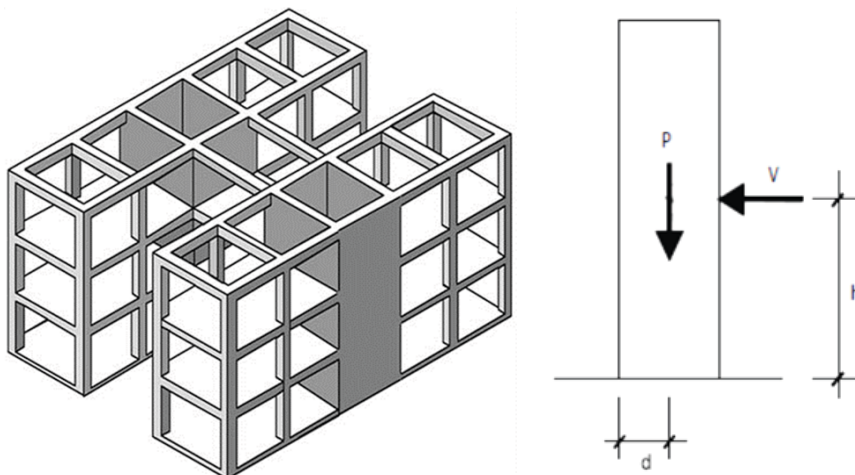
El seu càlcul i la seva construcció, de gran complexitat, només han estat possibles en èpoques recents gràcies als ordinadors, al desenvolupament de programari específic i a la disposició de mètodes de replantejament molt precisos.

10.6.1 Pòrtics tridimensionals

Els pòrtics tridimensionals són el model espacial més simple i el que s'ha aplicat més per resoldre estructures d'edificis. En aquest tipus d'estructura, els sostres defineixen plans segons els eixos (x , y) i els pilars es desenvolupen segons l'eix (z). Per al seu càlcul, l'estructura de l'edifici és concebuda com un tot, amb les interaccions entre elements horitzontals i verticals. Eventualment, es poden disposar



elements específics per fer front als esforços horitzontals i d'altres per reaccionar davant dels esforços verticals, tal com es mostra al gràfic inferior esquerre.



10.6.2. Exoesquelets

Els exoesquelets o estructures externes a l'edifici són d'aplicació en edificis alts i esvelts en què l'efecte del vent i dels sismes té una gran transcendència en l'estabilitat. El gràfic superior dret representa un edifici sotmès a l'acció del vent. L'equilibri estricte s'aconsegueix quan $P \cdot d = V \cdot h$.

D'aquest gràfic es desprèn el paper preponderant que té l'estructura perifèrica per fer front als esforços horitzontals, ja que el que interessa és que el valor d sigui el més gran possible.

Les fotografies inferiors mostren dos exoesquelets. La de l'esquerra, corresponent a l'Hotel Arts de Barcelona, és força convencional i incorpora creus de sant Andreu per garantir l'estabilitat. La central és del Gherkin de Londres, en fase de construcció. La de la dreta mostra el detall d'un dels nusos.





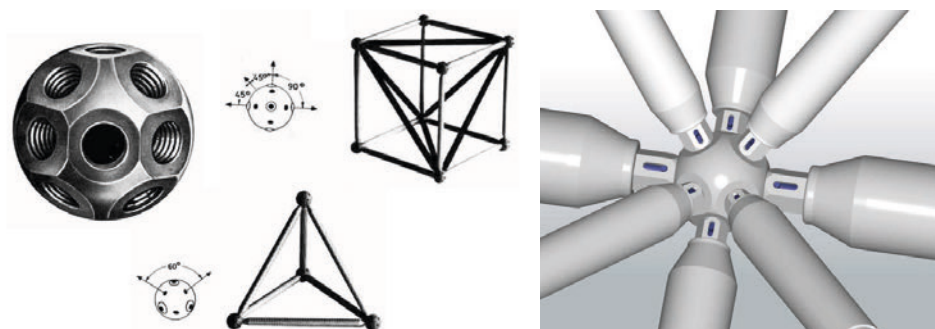
El Gherkin destaca per la seva planta circular i pel fet que l'exoesquelet està totalment triangulat i no necessita addicionar cap barra. La planta circular li confereix fins a un 20 % menys de resistència al vent que si tingués la planta quadrada. La triangulació contribueix a donar una rigidesa extraordinària al conjunt i l'estètica acurada pròpia de la unió entre la forma i la funció.

10.6.3. Malles planes de doble capa obtingudes per triangulació

Coneguda la indeformabilitat del triangle en el pla, aquesta es podria transposar en l'espai per mitjà de piràmides materialitzades per barres o, millor encara, per mitjà de de tetraedres, poliedres formats per quatre triangles iguals.

El raonament teòric és simple. Fins ben entrat el segle xx, la construcció no va disposar de barres i nusos prou sòlids i precisos per construir malles espacials.

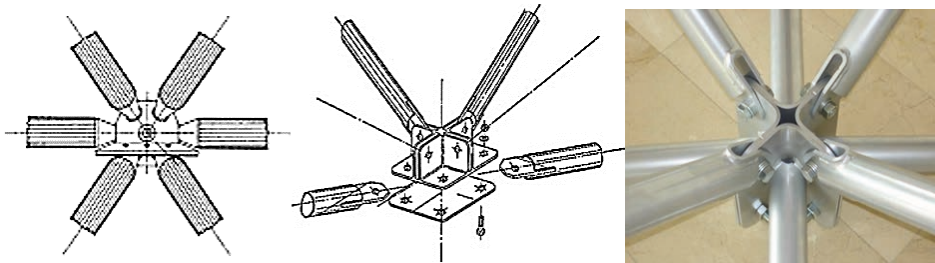
Un mètode pioner en la construcció de malles espacials fou el sistema MERO, que Max Mengerhausen va desenvolupar l'any 1937. El nus de forma esfèrica, complex i car de construir, disposa de 18 cares enroscades i és apte per a la construcció de tetraedres i cubs enllaçats entre si, com es mostra a la fotografia inferior esquerra. Les barres han d'estar enroscades als seus extrems i disposar de terminals que facilitin el muntatge per mitjà d'estris com ara claus angleses. La fotografia inferior dreta mostra un nus muntat.



Posteriorment, els nusos se simplifiquen i, a partir dels anys cinquanta, els tubs estructurals seran habituals al mercat i facilitaran el desenvolupament constructiu del concepte i el faran extensiu a malles de curvatura simple i doble.

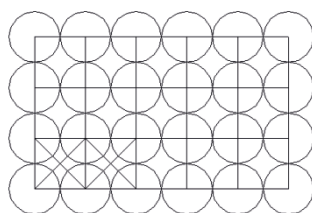
Les barres de les malles espacials treballen a tracció o a compressió, en funció de la seva posició. La geometria és molt exigent en la construcció de malles espacials per evitar esforços paràsits. A cada nus, els eixos de les barres han de confluir en un punt.

El dibuix de la pàgina següent esquerra mostra un nus de tipus casc. Les seves dimensions permeten enroscar i fixar les barres al seu interior per mitjà de femelles. El central és un nus realitzat amb platines soldades. Els terminals de les barres són travessats per cargols i fixats amb les femelles corresponents, com es mostra a la fotografia de la dreta.

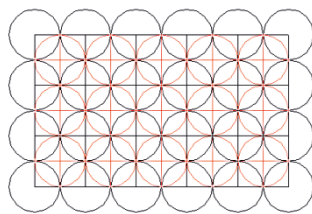


Els dibuixos inferiors mostren la generació de malles espacials planes per mitjà de la disposició de dues capes d'esferes del mateix diàmetre, superposades. El de l'esquerra parteix de la col·locació de les esferes, de manera que una esfera central és tangent a sis esferes situades en el mateix pla.

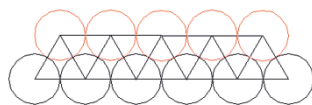
En aquesta situació geomètrica, cada tres esferes inferiors, tangents entre si, suporten una esfera del pla superior. Si els centres de les tres esferes inferiors s'uneixen amb el centre de la superior, es té un tetraedre. Aquesta disposició ofereix la màxima resistència, atès que totes les figures de la malla són triangles equilàters iguals. La malla és formada per tetraedres capiculats.



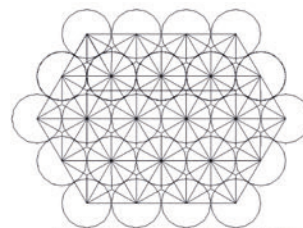
PRIMER NIVELL



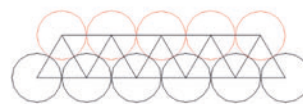
SEGON NIVELL



ALÇAT



PRIMER I SEGON NIVELL



ALÇAT

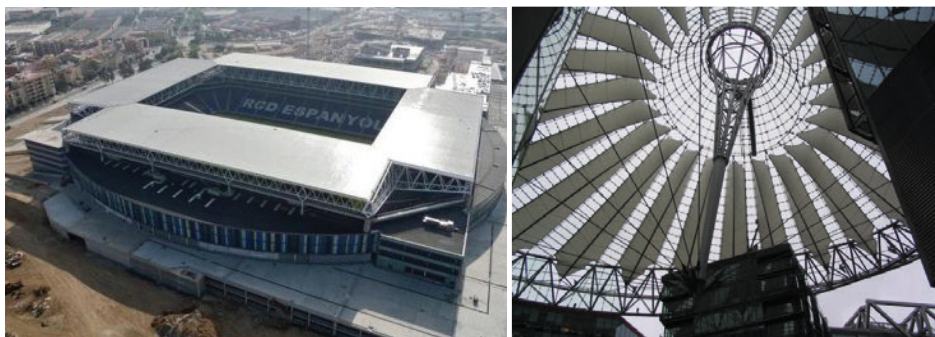
Al dibuix de la dreta, la disposició ortogonal de les esferes dóna lloc a les situacions següents: cada esfera del nivell inferior és tangent a quatre esferes, i cada quatre esferes del nivell inferior suporten una del nivell superior. En les condicions descrites, la figura de base obtinguda unint els centres de les quatre esferes amb la superior és una piràmide de base quadrada i amb les cares formades per triangles equilàters.



Les malles espacials tenen el seu punt feble en els nusos, per això s'apliquen només per resoldre estructures de gran llum però amb poca capacitat portant, com és el cas de les cobertes dels pavellons poliesportius.

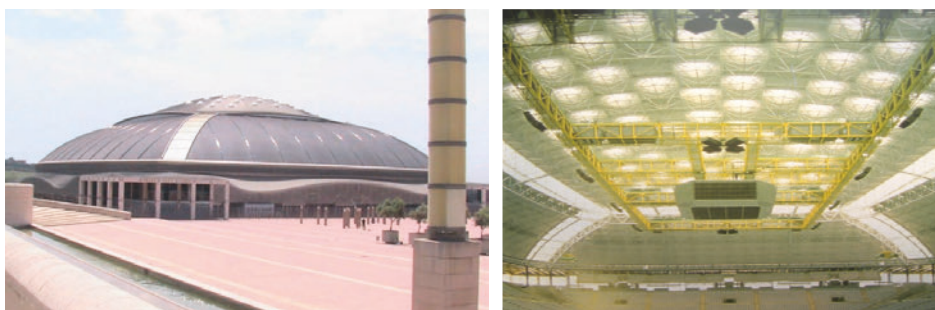
Especialment el primer model dóna lloc a nusos molt complexos, en què s'uneixen fins a dotze barres i grans rigideses; per aquest motiu, en moltes de les malles espacials que es construeixen, s'eliminen barres sense sacrificar-ne les prestacions.

Una variant de les malles espacials són les grans bigues triangulades espacialment. Per exemple, la imatge inferior esquerra mostra la coberta del camp de futbol del RCD Espanyol de Barcelona, suportada per bigues encreuades que descansen sobre vuit pilars: les més llargues són de 200 m de longitud i de 9 m de cantell. La fotografia de la dreta permet apreciar una solució similar de planta el·líptica a la coberta del Sony Center de Berlín.



10.6.4. Malles espacials de curvatura simple i de doble curvatura

A partir de la consolidació i del coneixement més aprofundit de les malles planes, els dissenyadors es varen llançar a construir malles corbes. Primer, seguint perfils de curvatura simple circulars, el·líptics o, en general, amb funcions senzilles, per determinar fàcilment les coordenades dels nusos en l'espai. El pas següent va ser la realització de malles espacials de doble curvatura, en què la forma contribueix a la funció estructural. Un bon exemple de l'eficiència de les malles espacials de doble curvatura per cobrir grans llums es mostra a les fotografies següents, corresponents a la coberta del Palau Sant Jordi de Barcelona, de 160×120 m. El pes de l'estructura no supera els 35 kg/m^2 .





Si bé la construcció tradicional de malles espacials ha estat dominada per les barres d'acer, a partir dels anys vuitanta es va experimentar amb sistemes d'unió acer-fusta amb resines epoxídiques i unions metàl·liques, que han permès construir cobertes de pavellons poliesportius amb barres de fusta laminada encolada.

Per exemple, la fotografia inferior dreta correspon a l'Oguni Dome de Shoei Yoh, construïda l'any 1988 al Japó, amb una coberta de 63×47 m. A la dreta, es mostra el detall d'un nus resolt amb terminals metàl·lics connectats amb cargols a les barres de fusta laminada encolada.



10.7 Les cúpules geodèsiques. Què són i com es construeixen

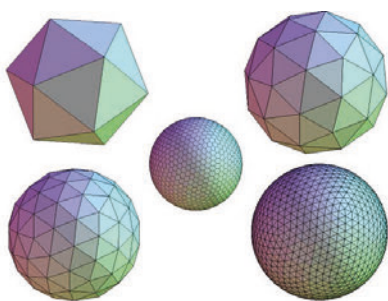
Una cúpula geodèsica és un poliedre de moltes cares, que s'aproxima a una esfera o a un el·lipsoide a base que els vèrtexs de les seves cares siguin punts de l'esfera o de l'el·lipsoide.

Per construir-les esfèriques, s'ha d'inscriure un poliedre platònic (tetraedre, hexaedre o cub, octaedre, dodecaedre o icosaedre) en una esfera, de manera que els seus vèrtexs se situïn en aquesta esfera, anomenada esfera *geodèsica*. Una part de l'esfera serà, doncs, una cúpula geodèsica.

En segon lloc, es fraccionen les cares del poliedre base, de manera que els nous vèrtexs creats coincideixin amb punts de l'esfera. Com més fraccionament hi ha, més s'aproxima a la forma esfèrica.

Habitualment, es parteix de l'icosaedre, per les seves cares triangulars i pel seu nombre més gran de facetes, que faciliten, ja en una primera divisió, una aproximació millor a la forma esfèrica (gràfic esquerra de la pàgina següent). L'ús del dodecaedre o d'altres poliedres és menys freqüent. La fotografia de la dreta següent mostra la cúpula geodèsica de doble capa construïda l'any 1967 per Richard Buckminster Fuller (1895-1983) a l'Expo de Montreal. Fa 76 m de diàmetre i 62 m d'altura.

Les cúpules geodèsiques es poden fer d'una o de dues capes concèntriques, en funció de les llums que es vulguin cobrir. L'eficiència de la forma esfèrica, combinada amb la triangulació i la capacitat resistent de les barres d'acer, ofereix possibilitats que escapen a les necessitats de la construcció actual –per exemple, s'han arribat a projectar cúpules geodèsiques de 1.000 m de diàmetre.



L'edifici esfèric més gran construït fins ara és el Globe Ericsson (fotografies inferiors), a Estocolm. Fa 110 m de diàmetre i 85 m d'altura. Es va bastir en dos anys i mig i fou inaugurat el 1989. És una sala polivalent per a esports i espectacles, amb grades per a 16.000 persones. El seu volum interior, 605.000 m³, és més de tres vegades el de la catedral de Laon, una de les més grans de França.



Actualment, la construcció de cúpules geodèsiques encara no ha superat el caràcter experimental. Tanmateix, és un camp que, combinat amb els tanca-ments tèxtils i d'altres solucions lleugeres, té sens dubte futur, tant per resoldre architectures efímeres com per a usos més perllongats. Les fotografies inferiors mostren una cúpula geodèsica construïda, de forma molt simple, amb barres de fusta, enllaçades per nusos realitzats amb platines d'acer galvanitzat, soldades a una secció de tub estructural.





10.8 Els punts febles de les estructures de barres, la resolució dels nusos, el guerxament i la flexió

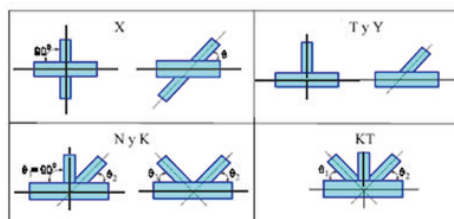
A continuació, s'assenyalen els punts febles de les estructures de barres. Aquests es produeixen per l'acció dels esforços, que esgoten més fàcilment tant les barres com els nusos: el guerxament i la flexió.

Els materials són determinants en l'eficiència dels nusos. Així, el formigó armat genera molt fàcilment nusos rígids i hiperestàtics. Aquests tipus de nusos contribueixen a enrigidir les estructures, a reduir el guerxament i a repartir els esforços, gràcies a la seva capacitat d'absorbir moments tant positius com negatius, i, en conseqüència, n'augmenta la capacitat resistent.

En el cas de les estructures de barres amb nusos soldats, els criteris de disseny, que en molts casos son resultat de l'experimentació (fotografia inferior esquerra), cerquen aconseguir la màxima homogeneïtat de resposta de tots els elements i les barres, per tal de racionalitzar-ne i simplificar-ne la construcció (fotografia dreta).



Nusos bàsics en estructures planes.



En les malles espacials, el criteri d'homogeneïtat es complica per la presència de terminals i passadors a les barres per enllaçar amb els nusos. El recurs experimental permet establir, en aquestes situacions, uns criteris de disseny que, posteriorment, donaran lloc a formulacions contrastades amb la realitat.

Guerxament

És la deformació per compressió dels elements estructurals esvelts (pilars i columnes), en sentit transversal a l'eix major de la seva secció i perpendicular a l'esforç que el produeix. Es manifesta com una flexió en el sentit indicat. La seva incidència depèn de l'esveltesa de la barra (relació de la llargada respecte al gruix menor de la secció) i de les característiques dels seus nusos. Controlar el guerxament obliga a reduir la tensió sobre la secció. Les seccions circular i quadrada, per la seva geometria regular, són les que s'adapten millor als esforços de compressió.

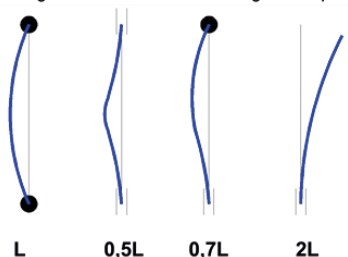
Les barres sotmeses a tracció no experimenten guerxament, raó per la qual es pot explotar fins al límit la seva capacitat mecànica. La fotografia inferior esquerra, corresponent a l'edifici MediaTIC de Barcelona, mostra la gran biga superior que suporta els tirants encarregats de subjectar els sostres. Aquesta solució constructiva permet alliberar totalment de suports la planta baixa.



El gràfic inferior dret detalla les longituds de guernament que s'han de considerar en les barres comprimides, en funció del tipus de nus als seus extrems, a partir de la consideració de la longitud física, l , de la barra.



Longituds de guernament a considerar segons el tipus de nus.



Flexió

Es manifesta en forma de deformacions en els elements estructurals allargats quan estan recolzats en dos punts o més i reben càrregues o accions distribuïdes al llarg del seu eix longitudinal. La flexió respon a una funció exponencial quadràtica, raó per la qual la capacitat resistent de les seccions s'esgota ràpidament.

Duplicar la llum suposa quadruplicar la tensió sobre la secció. En el cas de les biguetes pretesades, el model de barra flectada s'esgota al voltant dels 6 m de llum. Si es tracta de pòrtics de formigó armat o de sostres reticulars, no és recomanable superar els 8 m de llum. En general, la relació cantell/llum, C/L , en els casos de les barres flectades, ho hauria de superar el valor $1/20$.

10.9 Els encontres de les estructures de barres amb els fonaments

Les estructures de barres es caracteritzen perquè es troben amb els fonaments de forma puntual, contràriament a la forma lineal pròpia de les estructures de fàbrica. Aquesta situació, juntament amb la capacitat portant dels materials propis de les estructures de barres, comporta concentracions importants de càrregues que cal conduir cap al sòl de forma progressiva i controlada per mitjà d'elements constructius dissenyats a l'efecte. Es tracta d'evitar el fenomen conegut amb el nom de *punxonament* per mitjà de dues estratègies: ampliant les seccions de contacte i garantint la uniformitat de les tensions a la zona d'encontre.

La fonamentació de les estructures de barres de formigó elaborades *in situ* ja s'ha tractat al capítol dels fonaments. En aquest apartat, s'analitzen exclusivament les tècniques constructives per fonamentar estructures de barres d'acer resoltes amb perfils oberts, tancats o compostos, la fonamentació d'estructures de barres de fusta natural o laminada encolada i la fonamentació d'estructures prefabricades de barres de formigó armat.

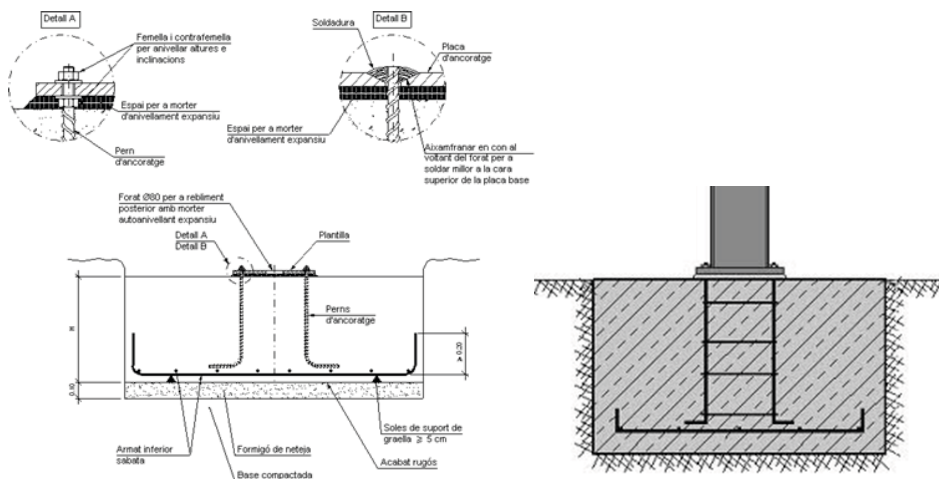
10.9.1. La fonamentació d'estructures de barres d'acer

Les elevades tensions de treball de l'acer, superiors a 100 N/mm^2 , en trobar-se amb el formigó, que pot suportar uns 10 N/mm^2 , requereixen la interposició



d'una placa d'ancoratge. Cal garantir l'encastament entre el pilar i el fonament per mitjà de perns dimensionats correctament en secció i en fondària.

El gràfic inferior esquerre mostra com l'ancoratge d'una placa apta per a càrregues moderades (de fins a 50 t) es resol amb l'encastament dels perns. El gràfic de la dreta permet descarregar càrregues superiors creant un pilar estrebat en el si de la sabata.

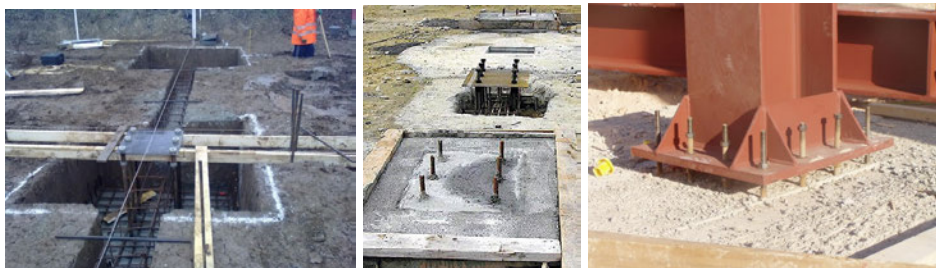


Cal enrigidir la placa d'ancoratge per tal d'evitar que es deformi sota la càrrega i garantir un repartiment homogeni de les tensions. S'acostuma a deixar un forat a la placa per escolar-hi morter de baixa retracció, un cop aquesta s'ha anivellat. El morter garanteix la transmissió correcta dels esforços de la placa al fonament.

La sabata es dimensiona per suportar els esforços axials i els moments que, segons els càlculs, es puguin generar en el nus.

Les tres fotografies inferiors mostren el procés de muntatge de la fonamentació d'un pilar d'acer. A l'esquerra, s'observa la rasa oberta i el replanteig dels perns enllaçats per una plantilla provisional que reproduïx les mides de la placa d'ancoratge.

La fotografia central mostra, en primer pla, els perns alliberats de la plantilla i, en segon pla, la plantilla encara subjecta als perns. A la fotografia de la dreta, s'ha muntat i anivellat la placa d'ancoratge amb els corresponents enrigidors. Manca omplir amb morter sense retracció l'espai comprès entre el coronament de la sabata i la cara inferior de la placa d'ancoratge.





10.9.2. Fonamentació d'estructures de barres de fusta

Per fonamentar estructures de fusta, cal evitar que entrin en contacte directe amb el sòl. Les tècniques emprades per la construcció tradicional són diverses (fotografies inferiors).

A la fotografia següent de l'esquerra, s'ha optat per construir en pedra la primera planta. L'edifici de la fotografia dreta disposa de daus de pedra per tal que la fusta no entri en contacte directe amb el sòl. Observant-la, es pot concloure que es tracta d'un recolzament simple, sense cap garantia per fer front a esforços horitzontals i que, malgrat la seva precarietat conceptual, porta segles en servei.



Avui es segueixen els mateixos principis per fonamentar les estructures de fusta laminada encolada, però amb més rigor estructural pel que fa a la materialització dels nusos.

Les tres fotografies següents mostren una estructura d'acer galvanitzat que evita el contacte directe de la fusta amb el sòl (esquerra) i unes grans plaques d'ancoratge (central) que descansen sobre uns daus de formigó (dreta). Aquestes plaques recullen les platines, les quals, unides a l'estructura de fusta laminada encolada, permeten la transició constructiva de la fusta al ferro.





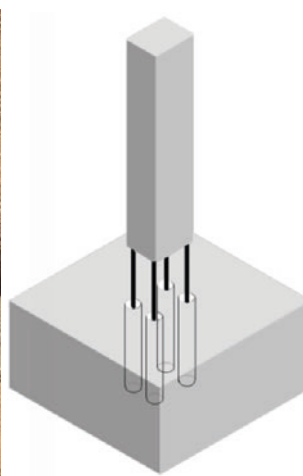
10.9.3. Fonamentació d'estructures prefabricades de barres de formigó armat

Les estructures prefabricades de barres de formigó armat es caracteritzen per la seva precisió dimensional. En realitzar els fonaments i començar a construir l'estructura, es produeix un canvi substancial entre la precisió que es pot esperar d'una màquina excavadora, de l'ordre de més menys 5 cm, i la necessària per garantir el muntatge correcte d'una estructura de formigó armat, amb toleràncies al voltant d'1 cm.

A continuació, es detallen les diferents solucions constructives que permeten complir amb les toleràncies dimensionals indicades. La solució de la fotografia esquerra consisteix en un dau de formigó que disposa de pernys per rebre el pilar corresponent. El dau se situa correctament i es fixa sobre la cara superior d'una sabata formigonada. La foto central mostra una corol·la que ofereix un cert marge de maniobra per col·locar el pilar en posició. Un cop s'ha aconseguit, se'l fixa amb un formigonatge selectiu de beurada (*grout*). A la foto de l'esquerra, en formigonar la sabata es genera una reserva amb un caixó de xapa plegada. El procés constructiu és similar al de la corol·la.



Les fotografies següents mostren un quart model, que consisteix a incorporar unes beines en el formigonatge de la sabata. Aquestes beines, omplertes amb *grout*, estan dimensionades per absorbir les toleràncies dimensionals.



Prefabricats de formigó armat per a estructures i tancaments d'edificació

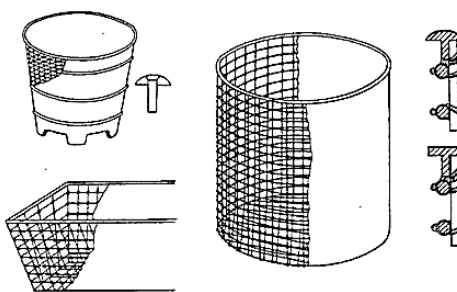
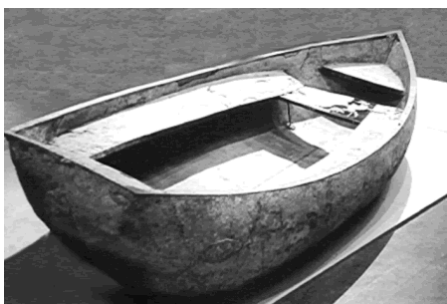
11.1 Els antecedents dels prefabricats estructurals de formigó armat

El formigó realitzat amb ciment pòrtland ha estat molt relacionat amb els objectes prefabricats des dels seus orígens, fins i tot abans de l'aparició del formigó armat de caràcter estructural.

Una de les primeres aplicacions va ser la realització de blocs de la mateixa dimensió dels carreus, per tal de substituir-los en la construcció d'edificis i obres públiques a un preu més econòmic.

Precursors en l'associació del ferro i el formigó, com Joseph-Louis Lambot (1814-1887) o Joseph Monier (1823-1906), varen començar realitzant petits objectes de producció seriada, en definitiva, prefabricats.

Vers el 1845, Lambot va construir dipòsits i, fins i tot, barques de rem (foto inferior esquerra), mentre Monier emprava teles metàl·liques per cohesionar el formigó en la fabricació de jardineres i banyeres (gràfics de la dreta).





Actualment, es continuen elaborant molts prefabricats de formigó de format petit i mitjà, arquetes, tubs, plafons, escopidors, llindes, bancs de jardí, jardineres... A aquest efecte, cal disposar de professionals amb ofici, els anomenats *portlandistes*, que realitzen els motlles necessaris per elaborar els prefabricats i intervenen en la fabricació de les peces resultants, en funció del seu grau de coneixements i d'especialització.

11.2 La genètica porta a la construcció *in situ*

La força de la tradició és inqüestionable. És molt complex canviar uns esquemes mentals i uns hàbits que s'han seguit durant mil·lennis. I la construcció no n'és l'excepció.

L'aparició d'un nou material, el formigó armat, malgrat que es podia adaptar a la prefabricació, no va escapar al nomadisme i al caràcter artesà que han caracteritzat la construcció des dels orígens. Així doncs, va predominar la tècnica, apresada dels romans, que consistia a abocar el formigó en motlles provisionals elaborats amb fusta, anomenats *encofrats*, fins que van aparèixer els encofrats tecnificats, a partir dels anys setanta, que van substituir els realitzats artesanalment amb fusta, que resultaven malmesos en retirar-los, cosa que portava a malbaratar esforços, temps i recursos.

François Coignet (1814-1888) va ser un dels precursors del formigonatge *in situ*. L'any 1853, va construir amb aquesta tècnica una casa a la població francesa de Saint-Denis, per tal de promocionar el nou sistema constructiu. Actualment, encara existeix i fou declarada Monument Històric l'any 1998.

Des de principi del segle xx, el formigó armat es transforma en el material de referència per realitzar obres d'enginyeria de gran format i per a la construcció d'estructures d'edificis de tota mena.

A partir de 1945, la reparació dels estralls de la Segona Guerra Mundial, sense alterar la utilització creixent del formigó armat, va obrir nous camins als prefabricats estructurals de formigó en forma de biguetes, plaques alveolars, grans panells o bigues de gran llum, per esmentar-ne el més usuals.

Als països occidentals, després de cobrir les necessitats peremptòries, la història dels darrers anys ens ha mostrat l'abandonament progressiu dels sistemes prefabricats pel que fa a la construcció d'habitatges, conscients que les economies d'escala no permeten realitzar grans inversions de tipus industrial en uns productes (els edificis d'habitatges) que, en el cas millor, no es renovaran fins al cap de 50 anys.

A la majoria de les ciutats del nostre país, el parc d'edificis de més de cent anys és molt extens i, amb les degudes atencions de manteniment, poden continuar prestant servei durant un temps indefinit.

En canvi, els prefabricats, tant si es tracta de grans panells com d'estructures de barres, han tingut un protagonisme creixent en la construcció de naus industrials i de grans centres comercials, per la seva simplicitat constructiva i perquè aquestes estructures tenen una vida útil més reduïda, d'entre 25 i 30 anys.



11.3 L'economia de mitjans i el respecte al medi ambient porten a la construcció prefabricada i semiprefabricada

Durant la bombolla immobiliària (2000-2007), es varen arribar a construir, a Espanya, més de 600.000 habitatges a l'any, la gran majoria d'ells seguint unes tècniques de construcció artesanes, auxiliades per maquinària de transport i d'elevació.

Sense entrar en detalls d'acabats, un model tipus d'aquest període consistiria en un bloc de soterrani per a aparcament, planta baixa i quatre o cinc plantes pis, d'estructura de formigó armat realitzada *in situ* amb llums d'entre 5 i 7 m, sostres reticulars de 25 a 30 cm de cantell, segones llums, amb tancaments i divisòries de material ceràmic.

Les conclusions extreïdes de dades objectives de la situació, de les prestacions del model constructiu descrit i de la perspectiva que ofereix el pas del temps són les següents:

- Hauran de passar dècades perquè es torni a construir a un ritme similar al de la bombolla immobiliària. Cal adaptar la producció al mercat. Això vol dir reduir el nombre d'operaris i de professionals vinculats a l'edificació. També comporta una altra manera d'entendre i d'elaborar els processos constructius.
- Malgrat que la construcció s'ha d'apropar a les tècniques i als procediments industrials, no serveixen actuacions de tipus mimètic. És necessari considerar aspectes com les economies d'escala i de valor afegit.
- A tall d'exemple, manipular centenars de milers de peces dia rere dia comporta necessàriament tecnificació i automatització. Un edifici d'habitatges tipus, com el descrit, té unes 20 cuines i uns 40 banys. És evident que no es poden amortitzar determinades inversions en tecnologia a l'edificació, encara que aquesta estigui disponible al mercat.
- El procés de construcció aporta poc valor afegit. Per il·lustrar-ho, es podria dir que 1 kg d'un aparell d'alta tecnologia val uns 600 €, mentre que 1 kg d'edifici no arriba a 1 €. Aquest és un altre factor que limita les grans inversions orientades a produir edificis de forma industrialitzada.
- El nomadisme, el caràcter artesà, les economies d'escala i el poc valor afegit són factors amb els quals cal lluitar a l'hora de cercar solucions constructives de futur.
- Les tècniques constructives que es van emprar durant la bombolla immobiliària han quedat obsoletes per improvisades, poc fiables i malbaratadores de recursos. No s'haurien de continuar emprant. Les queixes i les reclamacions dels propietaris s'apilen als jutjats.
- Cal tecnificar i especialitzar la construcció i la mà d'obra. Els muntadors han de substituir els encofradors i els paletes. Els formigonatges selectius i els "de bata blanca" (injeccions de grouts) han de prendre protagonisme per donar continuïtat i monolitisme als elements constructius prefabri-



cats o semiprefabricats, tant estructurals com de tancament. En aquest context, la ceràmica d'obra perdrà protagonisme, llevat que reorienti la producció dels seus productes.

- L'anomenada "via seca" s'ha d'imposar, sempre que sigui possible i raonable, a l'anomenada "via humida"; en definitiva, la física ha d'anar per davant de la química. Oficis com el de guixaire s'han de circumscriure a la conservació dels edificis patrimonials i difícilment poden tenir cabuda en la construcció d'uns edificis dissenyats considerant la desconstrucció i el reciclatge.
- La utilització de sistemes prefabricats i/o semiprefabricats oberts (compatibles amb productes d'altres fabricants) ha de donar resposta a edificis amb més prestacions tecnològiques, construïts de forma més econòmica i amb menys impacte ambiental.
- En alguns casos, utilitzar estructures prefabricades comporta incrementar l'altura de la construcció per la presència de mènsules o cantells de jàsseres no embeguts en el sostre. Aquests aspectes, o la necessitat d'instal·lar màquines d'aire condicionat als sostres, s'haurien de tenir en compte a l'hora de redactar la normativa urbanística relativa a les altures dels edificis.
- No cal realitzar grans inversions per aconseguir prefabricats o semiprefabricats adequats a aquests requeriments, sinó un gran canvi en la mentalitat dels polítics, dels tècnics, dels promotors i, per descomptat, dels consumidors. Al país hi ha moltes fàbriques de prefabricats de formigó, algunes d'elles amb una gran tecnologia. Només cal reorientar-les.

11.4 Prefabricats i semiprefabricats. Avantatges i inconvenients

El terme *prefabricat* es pot aplicar a qualsevol producte tecnològic a punt per a ser utilitzat per a un ús o una finalitat determinats. En el cas dels prefabricats de construcció, aquesta situació no s'acostuma a donar, ja que, per les seves dimensions, un edifici no es pot fer d'una sola peça. Cal que els prefabricats disposin de sistemes d'unió perquè puguin ser enllaçats els uns amb els altres, de forma sòlida i fiable, per tal d'arribar a disposar d'un edifici en estat de servei.

Per raó dels condicionaments indicats, els prefabricats de formigó armat per a la construcció d'edificis comporten problemes dimensionals relacionats amb la modulació de les peces i amb el seu pes elevat, amb independència dels problemes derivats de la resolució de nusos i unions.

Aquesta situació no planteja problemes a l'hora de construir edificis aïllats i, en canvi, complica i dificulta la construcció d'edificis entre mitgeres.

En general, un element prefabricat de formigó armat per a l'edificació es caracteritza per:

- Unes dimensions modulades. Això vol dir rigidesa dimensional o la necessitat de fabricar peces especials per adaptar el sistema als espais no modulats.



- Un pes elevat. Atès que el formigó armat té una densitat de 2.500 kg/m^3 , un panell de 15 cm de gruix pesa 375 kg/m^2 . Això comporta dificultats de transport i de manipulació.

Per tant, es tracta de materials poc aptes per construir entre mitgeres i, en general, en àmbits urbans consolidats.

L'alternativa es pot trobar en solucions semiprefabricades, que han de ser completades a l'obra fins a adquirir plenament les seves capacitats estructurals i aïllants.

Els semiprefabricats es plantegen substituint els panells massissos tradicionals per caixes elaborades amb pells lleugeres que incorporen armadures. Per mitjà de formigonatges selectius, s'aconsegueix el monolitisme. L'ajust dimensional es fa amb els forats de la façana, de manera que és possible construir entre mitgeres amb un nombre molt reduït de mòduls.

De fet, els sostres actuals estan formats per semiprefabricats, biguetes i cassejons, sobre els quals es realitza un formigonatge que dona monolitisme al sostre i als seus suports.

11.4.1. Avantatges

Els tres paràmetres al voltant dels quals gira la major part de la producció de l'activitat humana són la qualitat, el preu i el temps. Qualsevol canvi que s'introdueixi en un procés determinat, per tal que tingui èxit, ha de conduir a resultats millors que el model anterior amb relació a tots o a algun dels paràmetres d'anàlisi indicats.

En els prefabricats, l'aspecte més significatiu és l'aportació de qualitat. entesa com:

- Més fiabilitat en les capacitats mecàniques del material.
- Toleràncies dimensionals controlades. Qualitat de la superfície.
- Reducció dels impactes ambientals. La producció es realitza majoritàriament en fàbriques controlades. A l'obra, el residu és pràcticament zero.
- Capacitat d'integració d'aïllaments i sistemes d'acabat interior. Un edifici prefabricat ben resolt només s'hauria de distingir d'un de convencional per la major qualitat dels seus acabats i pel seu confort.
- Compatibilitat de les deformacions entre els elements portants i els portats.

La incidència dels prefabricats en la reducció dels temps d'execució pot ser significativa en alguns casos. Els costos solen ser similars, però les prestacions són superiors.

A la pàgina web de l'Associació Nacional de la Indústria del Prefabricat de Formigó (ANDECE), s'ofereix una àmplia informació general sobre els prefabricats, agrupats per famílies amb les seves sigles específiques, com ara AIDEPLA i ANfhARQ, que se citen en aquest capítol.



11.4.2. Inconvenients

Els màxims inconvenients dels prefabricats de formigó armat per a les estructures i els tancaments d'edificació es deriven de la manca de convicció de tots els estaments amb responsabilitat en el tema.

El pes de la indústria de la ceràmica de construcció, que defensa legítimament el seu territori, i uns professionals poc disposats a canviar les seves rutines constitueixen un fre. Això genera un cercle viciós: no es fa recerca per desenvolupar nous materials i nous productes perquè no hi ha demanda, i no hi ha demanda perquè no es disposa de materials i tècniques apropiades per satisfer-la.

Cal que l'Administració, les universitats i les empreses actuïn coordinadament per tal de desenvolupar nous sistemes constructius tècnicament i econòmicament eficients, i respectuosos amb el medi ambient.

Els inconvenients que se citen tradicionalment sobre el poc èxit dels prefabricats de formigó armat en la construcció perden entitat un cop s'ha après dels errors del passat i es vol abordar el futur amb noves perspectives. El més rellevant és la dependència del fabricant.

Si es considera que els prefabricats moderns han de ser "oberts", és a dir, han de permetre combinar peces de diferents fabricants, el problema es redueix a les seccions d'obra. A tall d'exemple, l'estructura la podria subministrar el fabricant A; els sostres, el fabricant B, i els tancaments, el fabricant C, i totes elles les podria muntar el contractista D.

Respecte a la tendència a la uniformitat que s'addueix en les construccions prefabricades, tant durant el procés de disseny dels edificis com en l'elaboració de les peces que han de conformar la seva pell, s'hi poden introduir diverses textures, colors, formes..., que ofereixen molts recursos de personalització i de fugida de la uniformitat.

El cost del transport és un altre dels cavalls de batalla dels prefabricats. S'ha de combatre disposant factories a distàncies inferiors als 100 km dels punts de construcció, alleugerint el pes de les peces i estudiant-ne les mides per optimitzar-ne el transport.

Pel que fa a la resolució monolítica dels nusos, un altre dels punts febles dels prefabricats, s'ha avançat en la seva resolució gràcies a l'aplicació de materials amb més prestacions mecàniques. Si el sistema constructiu amb prefabricats pren força, també ho faran les solucions constructives per a nusos monolítics.

11.5 Famílies de semiprefabricats i de prefabricats de formigó armat per a estructures i tancaments d'edificació

Dins dels prefabricats de formigó armat, es poden distingir dues famílies, per la seva afinitat.

Els semiprefabricats, entre els quals hi ha:



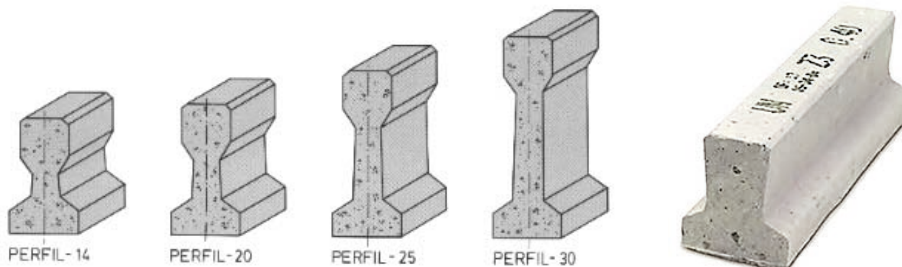
- Els forjats elaborats amb biguetes de formigó pretesat
- Les plaques alveolars
- Dues patents UPC-EPSEB, una per a suports i tancaments, i l'altra per a l'elaboració de sostres lleugers
- Els prefabricats de gran format, constituïts per:
 - Panells
 - Estructures de barres
 - Sistemes mixtos
 - Mòduls tridimensionals de gran format

11.5.1. Un prefabricat estructural humil i eficient. Les biguetes de formigó pretesat per a forjats

Les biguetes de formigó pretesat han estat un dels prefabricats estructurals de formigó més utilitzats al llarg de la història de l'edificació.

La primera patent per realitzar formigó pretesat data de l'any 1920 i és deguda a Eugène Freyssinet (1879-1962). L'any 1928, el sistema ja està completament desenvolupat. A partir de 1943, el formigó pretesat, per la seva economia de mitjans, durabilitat i baix cost, s'estén arreu del món, i el 1945, es fa la primera bigueta pretesada a Espanya. Progressivament, van desapareixent dels forjats unidireccionals les biguetes metàl·liques i les realitzades amb armadures passives.

Avui, les biguetes de formigó pretesat es continuen emprant i, de moment, no s'albira cap alternativa al mercat que les pugui substituir en el seu camp d'aplicació. El gràfic inferior esquerre mostra diversos models de biguetes autoresistents i la fotografia de la dreta, un tipus de bigueta semiresistent.



Igualment humils i eficients són els cassetons perduts de material ceràmic, de morter o de poliestirè, o els motlles recuperables per fer sostres, tant unidireccionals com reticulars. Tots ells tenen com a denominador comú que són prefabricats. De la seva conjunció sorgeixen els sostres semiprefabricats.

11.5.2. Les plaques alveolars. Un continu polifuncional de biguetes pretesades unides

Les plaques alveolars són una alternativa superficial a la linealitat de les biguetes. Amb amplades de 120 o 240 cm, ofereixen un ventall ampli de cantells, de 10 a 50 cm, llums de fins a 20 m i capacitats de càrrega de més de 1.000 kg/m². L'Associació per a la Recerca i el Desenvolupament de les Pla-

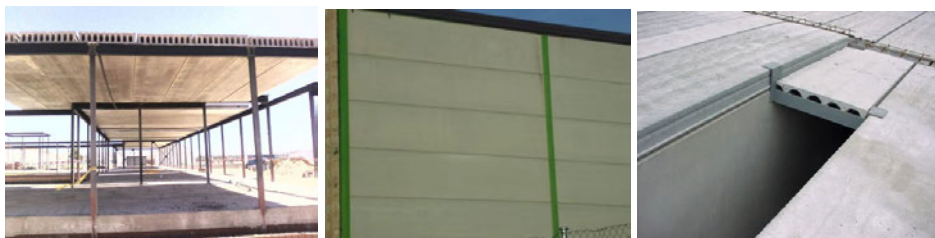


ques Alveolars (AIDEPLA) té un manual sobre les característiques i l'aplicació del producte.

Com tots els prefabricats, les plaques alveolars ofereixen una gran qualitat en materials i toleràncies dimensionals, i també un rendiment excepcional a l'obra. Un equip de tres persones en pot col·locar entre 500 i 1.500 m² al dia.

La seva funció primordial és el treball a flexió com a sostre. Són autoportants i polifuncionals, atès que també es poden col·locar verticalment i actuar com a estructura de suport de sostres i com a mur de tancament.

La fotografia inferior esquerra mostra unes plaques alveolars recolzades sobre unes jàsseres metàl·liques per formar un sostre. La central correspon al tancament d'una nau industrial realitzada amb plaques alveolars. I la de la dreta mostra una safata de suport per generar forats als sostres.



El problema fonamental de les plaques alveolars és la limitació que presenten per ser foradades, ja que el tall dels nervis en compromet la resistència. Per aquest motiu, la seva aplicació se circumscriu a usos de tipus industrial, on la necessitat de disposar de forats per a instal·lacions, ventilacions o ascensors és reduïda.

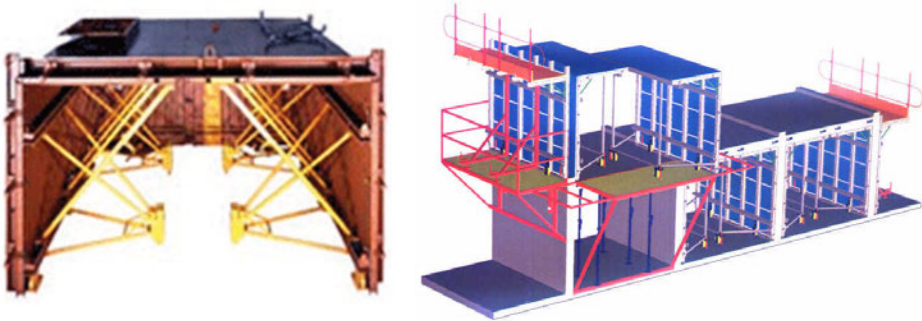
El sostre d'un edifici d'habitatges presenta nombrosos forats i reclaus incompatibles, amb la utilització d'aquest prefabricat, excepte en dissenys molt específics, per aquesta raó no s'utilitzen en construccions residencials.

11.5.3. L'encofrat túnel. Un bon sistema mal aplicat

Un bon sistema mal aplicat. Els encofrats túnel es plantegen al final dels anys quaranta, a França, com una forma de construir ràpid, més que bé. A mitjan anys cinquanta, el sistema ja està desenvolupat empresarialment. El salt a Europa es produeix a principis dels setanta. Les primeres aplicacions a Espanya es fan cap al 1975, però el procediment s'abandona al cap de poc temps per la baixa qualitat dels acabats i de l'aïllament acústic i per les dificultats de reparar les instal·lacions dels habitatges.

La base del sistema constructiu, que es pot qualificar de semiindustrial, consisteix en dues mitges peces d'estructura metàl·lica en forma de L invertida. El panell d'encofrat pot ser de planxa d'acer o de melamina. La unió de dues d'aquestes peces en L forma un pont (fotografia esquerra de la pàgina següent). Un conjunt de ponts separats a distàncies regulars, amb l'aferrallat previ dels

suports i de la cara superior del pont, un cop realitzat el formigonatge, genera una sèrie de nínxols (fotografia inferior dreta i les dues següents).



La fotografia inferior esquerra mostra, en primer pla, la grua encarregada d'extreure i elevar els encofrats. En segon terme, els encofrats túnel durant el procés d'aferrallat. La fotografia de la dreta permet apreciar els nínxols que resulten del formigonatge.



Per passar el sistema a la planta superior i continuar amb el procés de construcció, les peces d'encofrat disposen de fusos que permeten reduir-ne les dimensions.

Una grua potent s'encarrega d'extreure'ls i de dipositar-los a la planta superior, en la posició correcta. Aquest cicle es desenvolupa en 24 hores. Un habitatge està integrat per un nombre determinat de nínxols resultants. L'enllaç entre ells es realitza col·locant, en el interior dels encofrats, els bastiments de les portes en la posició adequada.

L'afany de construir ràpid feia col·locar les instal·lacions elèctriques en el si del formigó. Els habitatges es lliuraven pintats directament sobre el formigó, amb una pintura rugosa. En no haver-hi cap mena d'aïllament acústic, els sons d'impacte es transmetien al llarg de les plantes a través del formigó.

Per raó de l'elevada resistència a flexocompressió del formigó, el sistema permetia construir fins a deu plantes, i oferia un comportament excel·lent enfront de les accions sísmiques, gràcies a la creació de pantalles encreuades durant la fase de disseny.

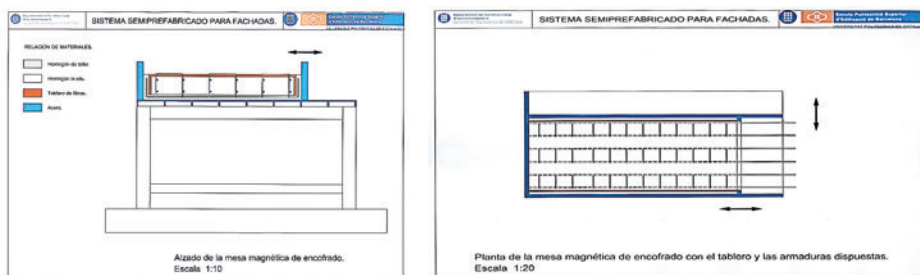
Amb un plantejament rigorós pel que fa a les qualitats i als acabats, emprant aïllaments acústics i extradossats de plaques de cartró guix per encastar-hi les instal·lacions, els encofrats túnel podrien ser una bona resposta per edificar construccions de qualitat en quantitats massives. Evidentment, això no és el que el mercat reclama: quan es té set, no es té la poma, i quan es té la poma no es té set.

11.5.4. Dues patents UPC-EPSEB

Les dues patents que s'exposen a continuació volen ser una petita contribució de la UPC i de l'EPSEB als semiprefabricats de formigó. La primera s'orienta a la construcció de suports i tancaments, especialment de façana, i la segona, a l'elaboració de sostres lleugers. Malauradament, encara no estan comercialitzades.

La utilització conjunta dels dos sistemes permet abordar amb garanties l'obra grossa d'edificis de fins a deu plantes sense necessitat d'adoptar mesures de càlcul excepcionals.

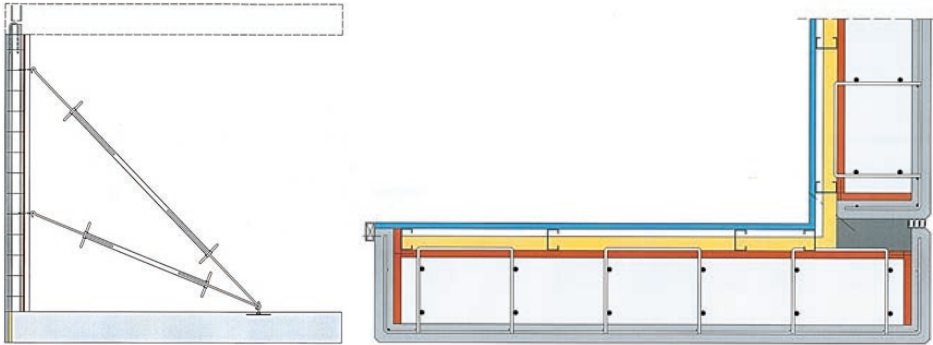
Suports i tancaments. El sistema consisteix en uns caixons de 25 cm de fondària i d'entre 40 i 200 cm d'ample. La seva longitud coincideix amb l'altura entre plantes. Aquests caixons, com s'observa al gràfic inferior esquerre, estan formats per una pell exterior de formigó armat de 4 cm de gruix, que es cola en un motlle situat sobre una taula d'encofrat. La cara interior és un tauler aglomerat que permet suportar les armadures. Quan aquesta cara s'aplica sobre el formigó fresc, les armadures hi penetren i es poden acabar d'emplenar les cares laterals dels caixons.



Un cop endurit el formigó, les dues cares resten unides i la peça es pot manipular i transportar sense problemes. Un panell de 100 cm d'amplada per 270 cm d'altura pesa 470 kg.

A l'interior de l'espai situat entre les dues pells, se situa una armadura preparada per absorbir esforços de flexocompressió (gràfic superior dret).

La col·locació de les peces en posició de ser formigonades resta garantida per un sistema de tornapunts fixats a un perfil HALFEN encastat a la capa de compressió del sostre. La fixació provisional està preparada per resistir vents de fins a 100 km/h, com s'il·lustra al gràfic inferior esquerre. Al gràfic esquerra de la pàgina següent, es reproduïx l'encontre a 90° de dos plafons.

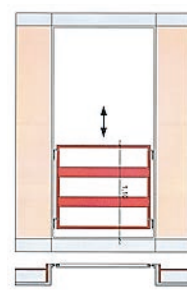


Un cop formigonats els caixons, es pot passar a realitzar el sostre. Aquest es resol amb qualsevol dels sistemes disponibles al mercat: plaques alveolars, pre-lloses, lloses convencionals unidireccionals o bidireccionals, sostres reticulars i unidireccionals, sigui quina sigui la seva variant.

Com que admet tota mena de sostres, el sistema és obert, però la seva versatilitat és més àmplia. Per exemple, permet una adaptació dimensional modificant lleugerament la dimensió dels espais buits entre mòduls (on s'ubiquen les finestres i les balconeres) i també construir entre mitgeres, sense cap problema. Així mateix, el sistema es pot combinar amb pilars i també permet resoldre estructuralment patis, caixes d'escala i d'ascensor, i parets mitgeres.

La construcció de les estructures convencionals comporta un gran esforç per prevenir el risc de caigudes, a diferents nivells. En la fase de construcció, cal col·locar xarxes penjades de forques. Abans de construir els tancaments, és necessari protegir tots els grans espais entre pilars, amb els problemes conseqüents de reposició quan aquestes proteccions es desmunten per permetre l'accés dels materials a la planta (fotografia inferior esquerra).

Amb els caixons patentats, hi ha molts menys espais que cal protegir. Tan bon punt s'ha construït el sostre, s'hi instal·len els premarcs de les fusteries i, sobre aquests, es fixen les proteccions, les quals, per les seves dimensions, són molt fàcils de treure i posar. El gràfic general del centre mostra mitja façana acabada i l'altra, amb les obertures protegides. El de la dreta il·lustra la facilitat de treure les proteccions i tornar-les a col·locar.



Un altre aspecte no resolt satisfactòriament en la construcció convencional d'estructures de formigó armat és la necessitat de començar els tancaments un



cop acabats els treballs corresponents a aquesta construcció per evitar problemes de seguretat als operaris que treballen en els nivells inferiors.

Amb els caixons, en canvi, la façana queda acabada a mesura que l'estructura creix. Aquest fet estalvia, quant al temps d'execució, prop d'una setmana per planta, reducció que té una incidència econòmica directa en les despeses generals de l'obra.

Sostres lleugers. Si s'analitza l'evolució que han experimentat els sostres els darrers seixanta anys, s'observa que els revoltos vistos varen deixar pas a l'anomenat cel ras, resolt amb un trenat de canyes clavats a les bigues o a travessers de fusta disposats a l'efecte. Sobre el trenat de canyes, s'estenia el guix per aconseguir un sostre pla. La voluntat de simplificar va portar a substituir els revoltos per cassetons. Amb aquesta solució, el sostre es podia enguixar directament. Disposar de sostres amb la cara inferior plana i apta per a ser enguixada directament va ser una constant que es va aplicar també als sostres reticulars.

La necessitat de disposar de llums cada cop més grans (de 7 a 8 m, en comptes dels de 3 a 5 m de les construccions realitzades amb parets primes) es va traduir, a partir dels anys vuitanta, en sostres de cantell i pes més grans: dels 20-25 cm i 200-250 kg/m² es va passar als 30-35 cm i 500-600 kg/m², sense canviar les altures reguladores entre plantes, amb la qual cosa es va reduir la llum lliure entre plantes.

La millora del nivell de confort a l'interior dels habitatges comporta, entre altres canvis, la necessitat d'instal·lar màquines d'aire condicionat als sostres, de manera que als banys i als passadissos és difícil aconseguir una altura útil de 2,20 m.

La consideració d'aspectes de sostenibilitat fa inapropiat enguixar els sostres, per raó de la presència de sulfats en les matxuques que resulten de la desconstructió. La solució consisteix a disposar com a cel ras plaques de cartró guix fixades a perfils disposats als sostres. En aquesta situació, cal preguntar-se:

- Quin sentit té que els sostres siguin plans per la cara inferior?
- Si les màquines d'aire condicionat fan més de 70 cm de llarg i d'ample, què es guanya eliminant cassetons de 70 x 70 cm per disposar d'espai per encastar-les i guanyar altura útil?

La resposta a aquestes qüestions porta a realitzar un sostre amb elements prefabricats lleugers. La peça base mesura 1,50 x 3,00 m i actua d'encofrat perdut entre biguetes o nervis.

En una sola operació, es col·loquen fins 4,50 m² de sostre. Un cassetó de 70 x 23 cm mesura 0,16 m², unes 28 vegades menys.

La peça està formada per nervis trapezoïdals, per tal de facilitar-ne el desemmotllatge durant la fabricació al taller. Mesura 5 cm a la base, 4 cm al coronament i 6 cm de cantell. L'intereix entre nervis és de 30 cm. Està armada amb mallat estàndard de 300 x 300 x 6 mm d'acer B-500S. Són peces que, per les seves



- Augment del pes propi de l'entrebigat de 53 a 238 kg/m², suficient per garantir l'aïllament acústic bàsic. Aquest es pot millorar amb aïllants en el fals sostre resultant.
- Monolitisme de la placa resultant del formigonatge, gràcies a la presència d'una capa de compressió, l'armadura de repartiment i les armadures de negatius.
- Estalvi en el pes de l'estructura de prop del 30 %, per la reducció de materials en els suports i els fonaments. En definitiva, consums menors i reducció dels impactes ambientals.
- L'entrebigat que en resulta admet més de 600 kg/m² de sobrecàrrega un cop descomptat el pes propi. Atès que els locals d'ús públic necessiten una sobrecàrrega útil de 300 kg/m², a la qual cal afegir 100 kg/m² en concepte d'envans i 100 kg/m² com a pes de paviments, es demostra que la solució estructural d'entrebigar proposada compleix folgadoament els requeriments de la normativa.

Les peces són fàcilment adaptables, per les seves dimensions, a les necessitats d'obra, i per tallar-les s'empra una màquina radial. També es poden fer reserves de forats o resoldre qualsevol altra necessitat constructiva pròpia de les prestacions dels sostres. Si el cantell del sostre reticular equivalent fos de 30 cm i es respectés aquest mateix cantell en el nou sostre, es guanyarien 21 cm entre les biguetes, que estarien separades 1,40 m entre si, espai apte per col·locar-hi una màquina d'aire condicionat o qualsevol altra instal·lació.

11.5.5. Prefabricats de gran format. Panells

Els panells, entesos com a elements verticals de tipus superficial, poden tenir la funció exclusiva de tancament o també poden actuar com a elements estructurals. Uns i altres es diferencien per:

- L'ús al qual es destinen: edificis industrials o edificis residencials
- Construccions de fins a tres plantes o més
- Construccions aïllades o construccions entre mitgeres
- Les dimensions de gran format, de fins a 12,00 × 3,00 m
- El gruix, de 3 a 20 cm
- El pes, de fins a 10 t per panell
- Els sistemes d'ancoratge: unions collades o soldades, encastaments, *grouts*...

La diversitat dels paràmetres indicats es reflecteix en l'existència d'un espectre ampli de productes que es comercialitzen sota la denominació genèrica de *panells*.

La fotografia esquerra de la pàgina següent mostra una nau de fabricació de panells. La central detalla una fase de la construcció semiartesana d'un panell de gran format, en què la superfície interior es regularitza amb un remolinador mecànic. La fotografia de la dreta mostra el desplaçament a l'obra



d'un gran panell amb una obertura incorporada, aspecte que el fa més fràgil i en dificulta el transport.



Pel que fa als panells prefabricats de formigó per a façanes, els fabricants estan representants a l'Associació Nacional de Fabricants de Façanes de Formigó Arquitectònic (ANfhARQ). Aquest mercat ofereix panells de tipus portant amb funcions estructurals i panells autoportants subjectats a les estructures. Pel que fa a l'aïllament tèrmic, es fabriquen panells alleugerits que incorporen poliestirè expandit, junt amb altres de triple capa, formigó d'aïllament i formigó amb trençament del pont tèrmic.

Les dues fotografies inferiors corresponen a una unió enroscada entre dos panells. Al primer pla de la fotografia esquerra, s'aprecien les fixacions de la placa d'ancoratge i, al fons, un perfil HALFEN fixat al segon panell.

La unió entre panells es materialitza per mitjà d'un cargol de cap especial que s'introdueix en el perfil HALFEN, es bloqueja girant-lo 90 graus i es fixa enroscant-hi una femella, com es mostra a la fotografia central. El sistema, si se n'ha fet la previsió corresponent, permet resoldre també encontres a 90 graus (fotografia central). Els encastos en els panells permeten superposar-los en altura.

La fotografia de la dreta correspon a una façana realitzada amb panells autoportants de formigó arquitectònic de 8 cm de gruix, fixats a l'estructura amb cargols.



Les fotografies següents mostren l'encastament de plaques d'acer en el si dels panells per facilitar la seva unió a trams regulars, tant verticalment com horitzontalment, i a 90 graus. Per evitar la corrosió un cop feta la soldadura es pinten les superfícies metàl·liques.



Les dues fotografies inferiors corresponen a dues naus industrials: la primera té un altell i la segona, un cos adossat per a oficines, en què s'ha cercat un caire de més representació. Totes dues estan realitzades amb panells autoportants.



El gràfic i la fotografia següents fan referència a un projecte d'habitatges de protecció oficial que va realitzar l'any 1993 a Alcobendas (Madrid) l'arquitecte Manuel de las Casas emprant panells de formigó armat de gran format.

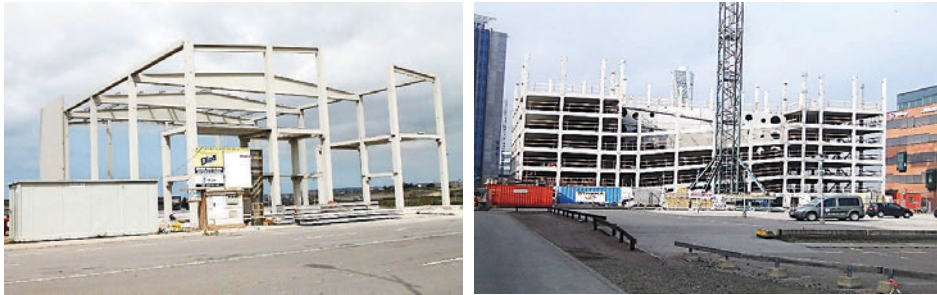


Aquests panells tenen un gruix de 12 cm i actuen com a tancament i com a estructura portant. Per reduir els junts, els límits dels panells incorporen les finestres. La unió entre murs i sostres es realitza per mitjà de formigonatges selectius. Malgrat que es tracta de prefabricats oberts i amb solucions constructives interessants, el pressupost ajustat no permet amagar la imatge de "prefabricació," en el sentit pejoratiu del terme.



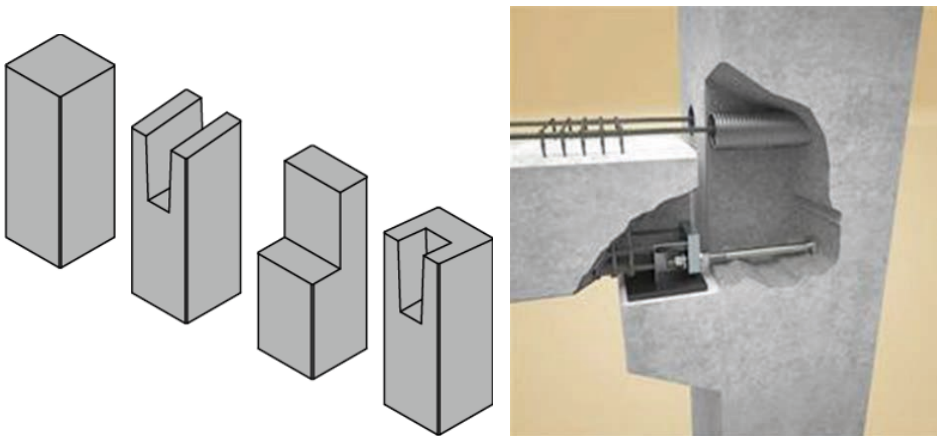
11.5.6. Estructures prefabricades de barres de formigó armat

Les estructures de barres de formigó armat permeten construir edificis complexos i de diverses plantes d'altura per mitjà d'una successió de pòrtics enriostats en les dues direccions amb jàsseres també prefabricades (fotografies inferiors).



Aquest tipus d'estructura, caracteritzada per encontres de tipus puntual entre les barres, genera la necessitat de resoldre correctament els nusos, més enllà de simples recolzaments i articulacions. Cal aconseguir un grau d'encastament suficient per garantir la rigidesa del conjunt enfront dels esforços horitzontals.

El gràfic inferior esquerre mostra diferents tipus d'encastaments en els pilars per rebre les jàsseres. El de la dreta permet apreciar com es deixen unes beines encastades en el pilar per ancorar-hi les armadures de negatius. A la part inferior, una caixa permet unir la jàssera al pilar amb una femella. S'hi pot observar una mènsula que conté un recolzament de neoprè, la qual facilita les tasques de muntatge i contribueix a assegurar la unió entre les barres.



Les dues fotografies següents corresponen a dos models de nusos realitzats a partir de mènsules incorporades als pilars. Tots dos disposen de barres verticals



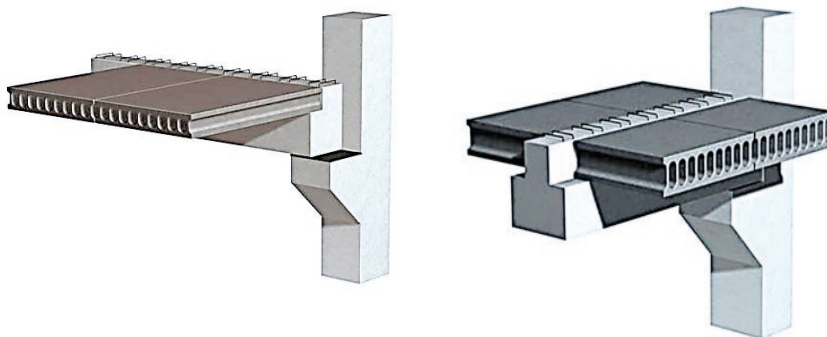
d'espera que coincideixen amb beines disposades a les jàsseres. Un cop al seu lloc, es realitza la injecció de les beines.

A la fotografia de l'esquerra, la mènsula queda encastada a la meitat del cantell de la jàssera. Resulta pràcticament invisible, però la reducció del cantell, malgrat els reforços que cal introduir a les armadures, limita la capacitat de càrrega.

A la fotografia de la dreta, realitzada durant el procés de col·locació, la mènsula és a la vista.



En les estructures prefabricades de barres de formigó armat, és freqüent que aquestes es combinin amb sostres realitzats amb plaques alveolars de formigó, com es mostra als gràfics inferiors. Per reduir el cantell que penja de les jàsseres prefabricades, és pràctica habitual realitzar-les amb un o dos encastos, segons si es tracta de jàsseres de façana o de les corresponents als trams centrals.



Els dissenys dels prefabricats ofereixen solucions integrals de gran llum per a les cobertes de les naus, pensades per recollir les aigües de pluja i facilitar la il·luminació natural al seu interior. A la fotografia de l'esquerra, s'aprecien el motlle i la bancada de fixació de les falques de bloqueig. A la de la dreta, una peça acabada, realitzada amb formigó blanc. A sota, a l'esquerra, un altre model, de prestacions similars.



El disseny integral d'edificis prefabricats comporta atendre aspectes específics, com ara les escales, segons es mostra a la fotografia interior dreta.



11.5.7. Sistemes mixtos

Els sistemes mixtos es caracteritzen perquè disposen de barres (jàsseres planes) resoltes amb perfils metàl·lics especials per obtenir sostres sense bigues especials de cantell. Formen caixes de secció trapezoïdal, realitzades amb xapes d'acer. Aquestes caixes tenen perforacions. En procedir al formigonatge, les caixes queden plenes de formigó i es realitzen unions monolítiques i sostres plans (fotografia inferior esquerra).



Resulta evident la dificultat de muntatge, perquè el pilar és travessat per lajàssera (fotografia central). La fotografia de la dreta mostra un recolzament provisional. El nus es forma amb un passador encastrat en el pilar.



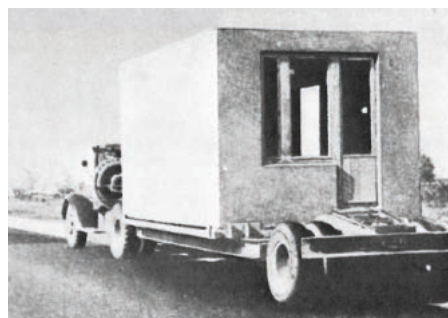
Si bé els sistemes mixtos varen obrir noves expectatives, el fet és que no han reeixit.

11.5.8. Prefabricats tridimensionals de gran format

Els prefabricats tridimensionals de gran format tenen una llarga tradició. L'any 1889, l'arquitecte nord-americà Edward Tuckerman Potter (1831-1904) va obtenir la primera patent per realitzar edificis prefabricats de formigó. Posteriorment, sorgiren noves patents d'altres autors.

L'any 1920, a França, els arquitectes Le Corbusier (1887-1965) i Jean Prouvé (1901-1984) varen treballar sobre maqueta, per a la *Unité d'Habitation de Marsella*, una solució modular espacial en què els mòduls s'inserien en una estructura de suport.

L'antiga URSS tenia una àmplia experiència en la construcció d'habitatges massius amb panells prefabricats al llarg de diversos plans quinquennals. Els tipus *monoblock* i *commieblock* o les *khrushchovkas*, blocs de planta baixa i quatre pisos sense ascensor, anomenats així en honor del dirigent Nikita Khrushxov (1894-1971) (fotografia inferior esquerra). La fotografia de la dreta mostra el transport d'un mòdul tridimensional per carretera.



A partir de 1954, a l'URSS es proposen els primers elements modulars tridimensionals de formigó. Es presenten com una evolució tecnològicament més avançada del sistema de panells, amb el propòsit de construir edificis més alts, de fins a 9 plantes, per tractar de cobrir el gran dèficit d'habitatges del país. Els primers edificis experimentals són de 1959 (fotografia inferior esquerra). La fotografia central mostra el transport d'un mòdul per via aèria i la de la dreta, el procés de col·locació.





Dóna una idea de l'envergadura del procés el fet que, només durant el vuitè pla quinquennal (1966-1970), es varen construir a l'antiga Unió Soviètica deu milions d'habitatges.

Les condicions socials i econòmiques de la resta d'Europa i dels Estats Units no eren favorables a aquest tipus de desenvolupament, de manera que els prefabricats tridimensionals han tingut sempre un paper marginal en aquesta part del món.

Els models que s'han desenvolupat al món occidental han cercat solucions més lleugeres, com ara les *"mobile homes"*, o basades en la reutilització d'antics contenidors marins, abans que el formigó (fotografia inferior esquerra). Aquest fet no obsta que actualment es produeixin prefabricats tridimensionals de formigó de gran format per a usos específics, com els que es mostren a la fotografia de la dreta.



Atès que no s'albiren canvis socials i econòmics substancials ni a curt ni a mitjà termini, la construcció seriada d'habitatges amb prefabricats tridimensionals no sembla que tingui gaire futur. Sí que en podria tenir la construcció al taller de mòduls tècnics de banys i cuines complets, fàcilment transportables per carretera, a punt per connectar amb els muntants d'aigua, d'electricitat i de sanejament. Els mòduls completament equipats i acabats es fabricarien al taller, amb tota garantia, i es col·locarien a l'obra recolzats directament sobre el sostre acabat de fer, abans de construir el següent. En edificis de poca altura, aquests elements, proveïts amb les esperes corresponents, podrien ser estructurals.

11.5.9. Impressió de gran format en 3D

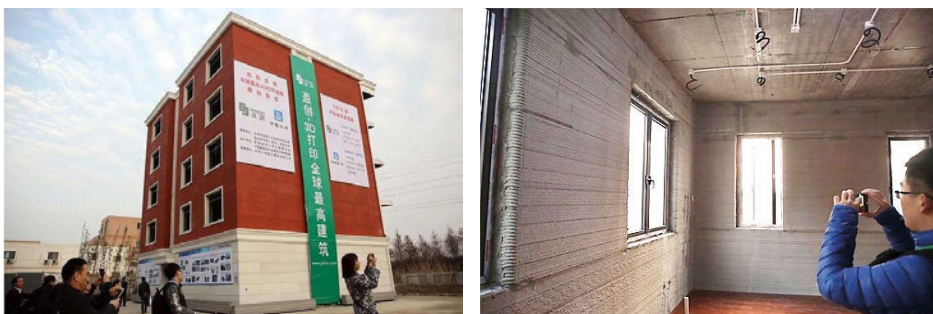
Recentment, la tecnologia ha obert un nou camp per construir edificis per mitjà d'impressores gegants que dipositen, a cada passada, capes de morter especialment preparat i dosificat.

En endurir-se el morter, es materialitzen i s'estabilitzen, mecànicament i dimensionalment, prefabricats tridimensionals de gran format. Aquests permeten compondre un edifici sencer per addició.

La fotografia inferior esquerra mostra la construcció dels murs d'una maqueta. La central permet apreciar els junts entre les peces "impreses" que conformen un habitatge unifamiliar. La de la dreta, el detall d'una de les peces.



L'edifici que mostra la fotografia inferior esquerra, de planta baixa i quatre pisos, construït l'any 2014, és el més alt que s'ha "imprès" fins ara. La impressora que va realitzar els diferents mòduls que el componen fa 6,60 m d'alt per 10,00 m d'ample i 40,00 m de llarg. Diposita capes successives de morter realitzat amb sorra, runa, materials reciclats, vidre, ciment d'adormiment ràpid i un enduridor. El dipòsit de les capes es pot observar a la fotografia de la dreta, feta abans de realitzar els extradossats.



La impressió d'edificis obre vies de recerca molt interessants, atès que:

- La tecnologia de les impressores està perfectament desenvolupada.
- No cal fer-ne grans sèries per amortitzar els motlles. Senzillament no en calen.
- Canviar el model final és tan senzill com carregar un nou fitxer a l'ordinador que comanda la impressora.

La millora dels morters per optimitzar-ne les prestacions mecàniques i facilitar el treball farà que, en un futur no gaire llunyà, la tècnica d'impressió en 3D esdevingui un dels recursos habituals per a la construcció de determinats tipus d'edificis.

11.6. El GRC

GRC és l'acrònim de *glass reinforced concrete*, formigó reforçat amb fibra de vidre. Aquest material s'aplica amb pistola d'aire sobre els motlles. Permet construir panells de gran format amb aplicacions arquitectòniques.



Els panells de GRC es fan al taller, amb formigó blanc, natural o tintat en massa, reforçat amb fibres de vidre. Normalment, els motlles tenen un acabat llis, però incorporant-hi làmines de goma gravades sobre la superfície es poden aconseguir tota mena de textures, pràcticament sense cost addicional.

Ofereixen una alternativa per acabar, de forma eficient, grans superfícies de façana. Se solen fixar mecànicament en els sostres de forma tangent als seus cantells.

La manca de precisió de moltes de les estructures usals de formigó armat d'edificació obliga a prendre les mesures a l'obra, un cop finalitzada, per tal d'adaptar la fabricació a les seves mides reals.

Si bé es fabriquen al taller perquè són un producte que ha de ser manipulat amb cura, la seva producció és semiartesana, com s'observa a la fotografia inferior esquerra. La fotografia central correspon a un panell acabat i la de la dreta il·lustra la col·locació d'un panell de tipus "stud-frame".



Tipus de panells de GRC

A continuació, es detallen els tipus més usals de panells de GRC.

- Panells "sandvitx". Estan formats per dues capes exteriors de GRC i una capa central de poliestirè expandit. Els panells usals d'aquesta tipologia es fabriquen amb unes dimensions de 3,00-3,50 × 1,50-2,00 m, aproximadament, i amb un gruix total de 10 cm. El pes d'aquest tipus de panells és d'uns 65 kg/m².
- Panells "stud-frame". Consten d'una sola làmina de GRC enrigidida per mitjà d'un bastidor metàl·lic. Normalment, es fabriquen amb una superfície superior als 8 m². Si cal, es fan peces més petites per resoldre punts singulars de la façana. La majoria dels fabricants limiten la dimensió màxima d'un dels costats a 3,25 m. Els panells usals d'aquesta tipologia es fabriquen de 4,00-5,00 × 2,00-2,50 m. El seu pes aproximat és de 45 kg/m² i el gruix de la placa és d'uns 1,50 cm.
- Panells "closca". Aquest tipus està format per una làmina de GRC que s'enrigideix amb unes costelles o nervis del mateix material. Normalment, s'utilitzen per fabricar elements petits i de geometria complexa de caràcter decoratiu, com cornises o lluernes.

En tot cas, els panells de GRC són tan sols una pell que ha de ser completada amb els corresponents aïllaments tèrmics i acústics i amb un extradossat interior.



Introducció als sostres

12.1 Els sostres. Definició i funcions

Els sostres són elements constructius estructurals compostos, que es disposen horitzontals o inclinats, en el si de la construcció, definint un pla. En els sostres, es distingeixen parts amb funcions estructurals (els nervis o les biguetes i la capa de compressió) i d'altres de reblert (els revoltos o els cassetons).

Els sostres han de tenir capacitat resistent a flexió, a compressió i a tallant enfront de les sol·licitacions verticals i horitzontals a què estan sotmesos al llarg de la seva vida útil.

Adicionalment a la condició estructural associada a la seva capacitat de resistència mecànica, les seves funcions principals són:

- Dividir els edificis en altura. En acomplir aquesta funció, actuen també com a elements estabilitzadors davant d'esforços horitzontals i del guixament.
- Rebre i transmetre les càrregues i les empentes derivades del seu propi pes i de l'ús i servei de l'edifici als seus suports.
- Fer-ho amb una deformació controlada en el temps. Aquest requisit és bàsic per garantir la compatibilitat entre els elements portants i els elements portats, sense que es produeixen lesions.

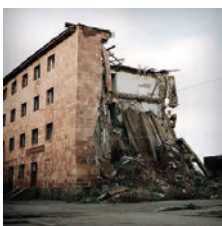
Paral·lelament a les funcions estructurals, els sostres, també anomenats *forjats*, compleixen altres funcions igualment significatives, que atorguen confort i seguretat als edificis:

- Aïllament tèrmic i acústic.



- Suport físic de les instal·lacions i dels acabats, tant estètics com funcionals. És el cas dels materials associats als sistemes per garantir l'estanquitat o els aïllaments tèrmics i acústics.
- Retardadors de la propagació del foc en condicions estructurals de servei durant el temps establert normativament.

Els forjats, atès que fonamentalment treballen flectats, són un dels elements més delicats de les construccions arquitectòniques. Quan un edifici entra en estat ruïnós, el primer element afectat és la coberta. El seu esfondrament acostuma a arrossegar els sostres. Si no és així, en quedar desprotegits, es veuen afectats per la intempèrie i, sobretot, per l'aigua, i no tarden a cedir (fotografies següents).



Una de les activitats més freqüents dels professionals de la construcció és la inspecció dels sostres per verificar-ne l'estat estructural i determinar si es troben en condicions de servei i, si no és així, aplicar-hi les mesures correctores pertinents. En inspeccionar l'estat estructural dels sostres d'un edifici, cal començar per les zones on es troben les cambres humides, ja que solen ser les més afectades pels efectes continuats de l'aigua i la humitat.

12.2 Els sostres de fusta

En aquest apartat, s'analitzen tant els sostres tradicionals, realitzats amb escairades de fusta natural, com els actuals, realitzats amb fusta laminada encolada.

12.2.1. Els sostres tradicionals

Els sostres tradicionals es caracteritzen perquè són un reflex fidel de la pressió que l'activitat humana va exercir sobre els boscos fins arribar a posar-los en crisi. La solució a aquesta pressió es va traduir, a mitjan segle XIX, en la construcció progressiva de sostres amb biguetes metàl·liques, primer, i amb formigó armat, més tard.

És bàsic conèixer les diverses tipologies de sostres per desenvolupar tècniques de restauració i de rehabilitació.

Els sostres medievals es caracteritzen per ser solucions constructives resoltes amb escairades de gran qualitat i per emprar taulons de fusta continus, com entrebigats (fotografies de la pàgina següent).



Per estalviar fusta, en segles posteriors es va optar pels sostres de llates i rajols, especialment en la construcció civil d'habitatges i de cases de labor. Els espais entre les llates eren ocupats per rajols ceràmics, amb la qual cosa es reduïa el consum de fusta, com s'observa a les fotografies inferiors. La de la dreta mostra com, sucant els rajols en un recipient amb calç, segons la seva diagonal, s'obtenia un bonic efecte estètic.



Als sostres resoltos amb revoltos, la utilització de fusta es redueix a les bigues. Els revoltos es recolzen en rebaixos fets en els plans de cantell de les bigues. Els carcanyols es reomplen amb residus d'obra. Un cop anivellat, una capa de morter pobre de calç i sorra s'encarregarà de rebre el paviment en forma de cairons ceràmics o, més endavant, mosaic hidràulic. La fotografia inferior esquerra correspon a un sostre amb els revoltos enguixats. A la de la dreta, els revoltos apareixen vistos. Per tal de disposar d'un sostre pla, una pràctica habitual fou realitzar sostres plans enguixant tramats de canyís clavats a les bigues. Posteriorment, el canyís va ser substituït per les planxes *staff*, realitzades amb guix i fibres vegetals.



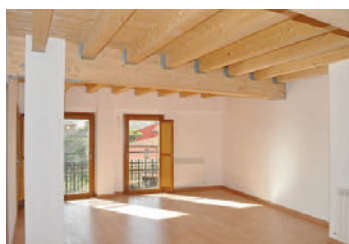


Per intervenir en un sostre de fusta, cal partir d'una diagnosi correcta. Hi ha diverses possibilitats: des de la substitució física –extreure'l per fases, per no deixar deslligades les parets, els entrebigats i les bigues de fusta, i reposar-les per noves bigues de fusta o d'un altre material– fins a la seva substitució funcional. En aquest darrer cas, el sostre es conserva però la seva funció és assumida, per exemple, per una llosa armada situada a la part superior. Per realitzar aquestes operacions, és recomanable estintolar preventivament el sostre (fotografies inferiors). La casuística i les tècniques d'intervenció de sostres, en particular si són de fusta, és molt extensa. Aquesta referència només pretén suscitar la curiositat del lector.



12.2.2. Sostres de fusta laminada encolada

La fusta laminada encolada va aparèixer al mercat a principi del segle xx amb Karl Friedrich Otto Hetzer (1846-1911), atès que feia poc que la indústria química havia desenvolupat una cola apta per unir fustes amb capacitats estructurals: la cola de caseïna, coneguda actualment com a “cola blanca”. La fusta laminada encolada ha tingut un gran desenvolupament des dels anys cinquanta, gràcies a l'aparició de noves coles encara més eficients i durables. Es tracta d'un material estructuralment fiable, de baix impacte ambiental i renovable. La fotografia inferior esquerra mostra una peça de gran cantell en què s'aprecien les delgues que la conformen. La fotografia central il·lustra solucions lleugeres en gelosia. I la de la dreta permet apreciar l'efecte estètic d'un sostre de fusta laminada encolada.



La fotografia següent (esquerra) mostra la producció de panells de gran format per a sostres. La creació de tota mena de ferratges, claus, cargols i perns permet resoldre les unions entre les peces de forma eficient (fotografia dreta de la pàgina següent).



El present i el futur de la fusta laminada encolada està assegurat, tant pel que fa a la construcció d'estructures de barres com a l'aplicació de peces de directriu recta als sostres.

12.3 Els sostres de biguetes metàl·liques

En els primers sostres realitzats amb biguetes metàl·liques, els entrebigats es varen realitzar amb revoltos, igual com amb els de fusta (fotografia inferior esquerra). La major tecnificació de les biguetes de ferro aviat va imposar la utilització de peces prefabricades de perfil corbat (dues fotografies centrals) i, posteriorment, de cassetons (fotografia dreta). Aquests oferien una superfície inferior plana apta per a ser enguixada.



Actualment, la construcció de sostres amb biguetes metàl·liques i cassetons ocupa un lloc marginal. Quan es tracta de construir sostres d'estructura metàl·lica, s'acostuma a recórrer als entrebigats de xapa col·laborant, que permeten intereixos més grans (fotografia inferior esquerra) i són autoportants en la fase de formigonatge (fotografia de la dreta, amb armadures de negatius i de repartiment).





12.4 El tipus de sostres actuals amb el formigó com a protagonista

Al llarg de la història de la construcció, s'han realitzat sostres amb materials i tècniques diverses. S'han dedicat grans esforços a millorar-ne les prestacions i a rehabilitar-los (és el cas de les bigues de fusta o de les biguetes de ciment aluminós).

A Catalunya, als anys seixanta hi havia més de dues-centes patents només de sostres ceràmics. Avui han desaparegut totalment del mercat, si bé encara n'hi ha molts en servei.

Als darrers anys, s'ha produït una selecció dels tipus inicials i no se n'han incorporat de nous. Avui, doncs, disposem de tres tipologies fonamentals en què el formigó és la base, això sí, amb moltes variants:

In situ:

- Sostres unidireccionals
- Sostres reticulars
- Lloses massisses
- Lloses posttesades

Semiprefabricats:

- Autoresistents
- Semiresistents

Ambdós tipus poden disposar d'armadures actives o passives.

- Prelloses

Prefabricats:

- Plaques alveolars
- Bigues TT

12.4.1. Sostres actuals realitzats *in situ*

Aquests tipus de sostre tenen com a característica comuna que necessiten la construcció prèvia d'un tauler continu sobre el qual es procedirà al formigonatge després d'haver col·locat, si escau, les peces d'entrebigat i les armadures.

La fotografia inferior esquerra mostra una tipologia d'encofrat per a sostres en la fase de muntatge. La de la dreta permet apreciar la fase de col·locació de taulers de 200 x 50 cm, que pesen uns 25 kg cadascun. Així doncs, per pes i per dimensions, poden ser manipulats per una sola persona.





El tauler continu suposa un cost afegit però, en canvi, és un element de seguretat enfront de les caigudes, a diferents nivells. També permet fer-ne un replantejament més acurat i establir reserves de formigonatge per deixar, per exemple, passos per a les instal·lacions.

Sostres unidireccionals. El sostres unidireccionals es realitzen amb cassetons convencionals. Als espais entre els cassetons, es dipositen, a la cara inferior, les armadures per absorbir els moments flectors positius. I, a la cara superior, les armadures de negatius i el mallat de repartiment. En realitzar el formigonatge, es genera una placa nervada i, per tant, amb menys pes propi que les massisses. Els sostres unidireccionals realitzats *in situ* se solen combinar amb jàsseres planes, fotografia esquerra inferior.



Sostres reticulats. Els sostres reticulats estan formats per nervis en dues direccions. Els nervis es generen amb els espais lliures de cassetons. Tenen 15 cm d'amplada, per bé que antigament es feien de 10 i de 12,5 cm. El gruix dels nervis s'ha incrementat per poder disposar de recobriment suficient de formigó per garantir la protecció lateral de les armadures contra el foc.

Els cassetons poden ser perduts o recuperables, com els de la fotografia superior dreta. Habitualment, els cassetons fan 70 × 70 cm i els intereixos entre nervis, 85 × 85 cm.

Els cassetons perduts es formen amb tres peces alleugerides de formigó de 23 × 69 cm, del cantell previst per al sostre, sense comptar la capa de compressió. La seva funció és alleugerir el gran pes propi que tindria una llosa massissa. Malgrat tot, el pes propi d'un sostre reticular de 30 cm de cantell total és d'uns 500 kg/m². Una llosa del mateix gruix pesaria 750 kg/m².

El cantell dels cassetons oscil·la entre els 20 i els 35 cm. La capa de compressió acostuma a ser de 5 cm. Els sostres reticulats s'anomenen amb dues xifres. La primera correspon al cantell del cassetó i la segona, al gruix de la capa de compressió; per exemple, 25 + 5.

L'estructura reticular dels nervis aconsegueix repartir millor les càrregues, reduir les deformacions i un comportament mecànic més equilibrat, amb independència de la direcció de l'esforç.



En el seu si, es distingeixen zones massisses i zones alleugerides. Entre les zones massisses, es troben les bigues de vora (fotografia inferior esquerra), els nervis i els àbac. La fotografia de la dreta mostra un àbac completament aferrallat i a punt de ser formigonat i, en primer terme, les armadures de tallant dels nervis.



Les bigues de vora serveixen per recollir els nervis que clouen el seu recorregut en un voladís, en un pla de façana o en un forat d'una certa envergadura. La seva funció és conduir la càrrega dels nervis a l'àbac més proper. Treballen a flexió positiva i negativa, a tallant i a torsió. Són peces fortament armades i estrebadades.

Els nervis disposen tots d'una armadura de base, prescrita als plànols, que es complementa amb les anomenades *armadures de reforç*. Treballen a flexió positiva i negativa, i a tallant. Per aquest motiu, a les zones properes als recolzaments se situen armadures de tallant que, per la seva forma, col·loquialment s'anomenen "avions".



Els àbac són les zones més sol·licitades dels sostres reticulars. Es massissen amb un mínim d'una sisena part de la llum a cada sentit. Per evitar el punxonament (gràfic superior esquerre), es col·loquen les anomenades *creuetes de punxonament*. A més de la continuïtat dels armats dels nervis, es disposen armadures de repartiment: dues de negatius per cassetó i una de positius per cassetó a cada direcció.

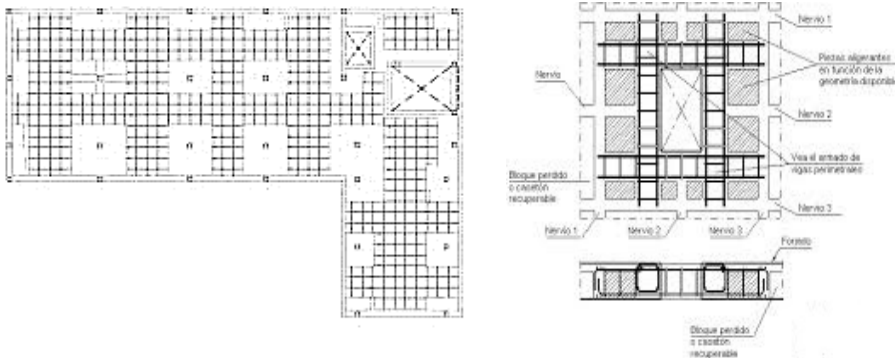
A tota la superfície de l'àbac, cal crear una graella amb quadres inferiors a 30×30 cm. La fotografia superior del mig mostra una creueta de punxonament aplicada a un pilar d'estructura metàl·lica. El gràfic de l'esquerra explica les deformacions positives i negatives d'un sostre reticular, i la concentració d'esforços en els àbac.

Armadures de la zona de graella d'un sostre reticular

A continuació, s'exposen amb detall les armadures que cal disposar a la zona de graella d'un sostre reticular i les seves funcions.

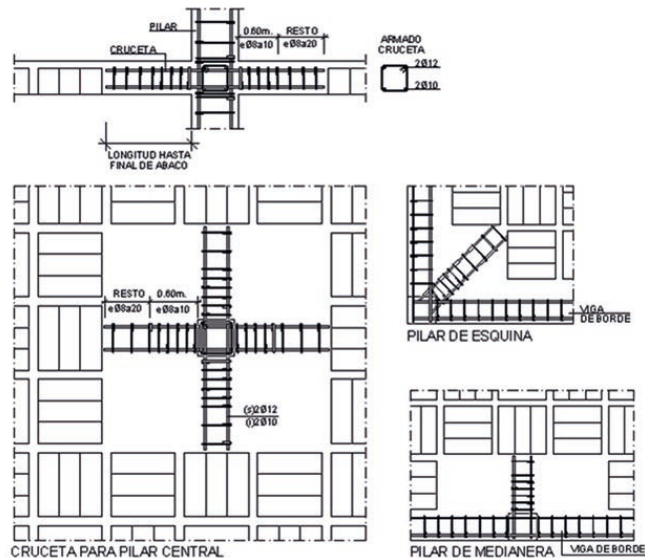


- **Armadura de base.** Absorbeix moments positius. Es col·loca de forma contínua a la zona inferior i, en ocasions, també a la zona superior dels nervis. Travessa la zona dels àbacs.
- **Armadura de reforç.** Es col·loca a la zona inferior central dels buits. Absorbeix la part de moments positius que no absorbeix l'armadura de base.
- **Armadura de negatius.** Se situa a la zona superior dels nervis. Ocupa, com a mínim, $1/3$ de la llum en les bandes centrals i $1/4$ de la llum a les bandes laterals. Es manté en posició per mitjà de segments de barres recolzats a la cara superior dels cassetons, anomenats col·loquialment "caliquenyos".
- **Armadura de tallant dels nervis.** Per la seva forma de U amb aletes superiors, queda suspesa dels cassetons a distàncies regulars a les zones dels nervis properes als recolzaments. Es coneix com a "avió".
- **Mallat de repartiment.** Se situa a la capa de compressió. Les seves funcions són repetir els eventuais punxonaments, contribuir al monolitisme del conjunt i evitar les fissures de retracció del formigó.
- **Bigues de vora.** Se situen en els perímetres del sostre, tant interiors (forats, patis, caixes d'escala, ascensors, etc.) com exteriors (mitgeres i façanes). La seva funció és recollir les càrregues dels nervis i transmetre-les als àbacs o actuar com a element de continuïtat per resoldre estructuralment les discontinuïtats de la placa. El gràfic inferior esquerre mostra l'esquema general d'una planta on es mostren els cassetons, els àbacs i les bigues de vora. El gràfic de la dreta mostra, amb més detall, el reforç d'un forat amb bigues de vora.



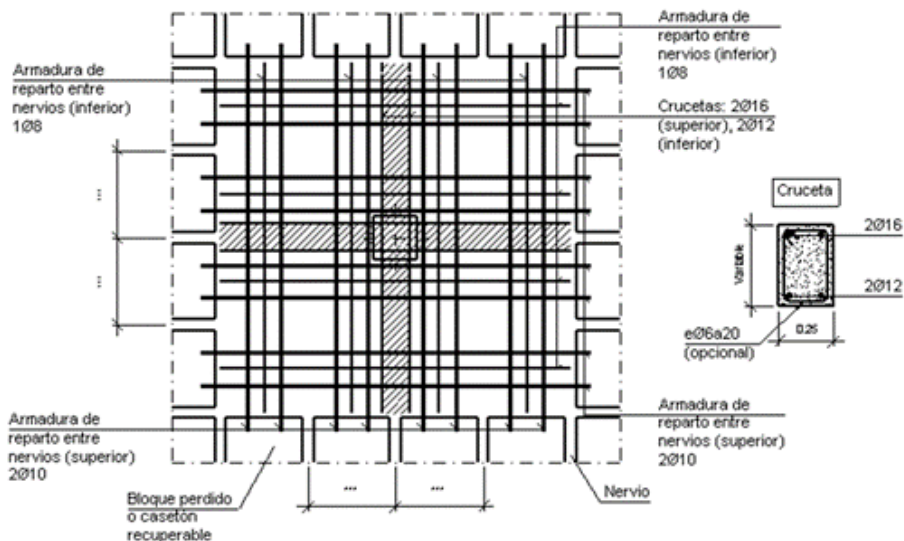
Armatures de l'àbac

- **Creuetes de punxonament.** Tenen la missió de repartir i transmetre al pilar, de forma homogènia, les sol·licitacions que provenen del sector del sostre vinculat al pilar. Els gràfics següents mostren, en planta i en secció, la disposició de les creuetes de punxonament segons si es tracta d'un pilar central, de mitgera o de façana, o de cantonada.



- **Armatures de repartiment.** Se situen entre els nervis, tant superiors com inferiors. Les superiors són sempre més i de diàmetre més gran que les inferiors. Amb les armatures de repartiment, junt amb les incidències dels nervis i les creuetes de punxonament, s'aconsegueix que l'àbac disposi de mallat superior i inferior a distàncies inferiors als 30 cm.

El gràfic inferior detalla, amb una línia més fina, la graella de reforç inferior de l'àbac, que consisteix en un rodó situat al centre de cada cassetó. Amb una línia gruixuda, es grafia el reforç superior, que consisteix en dos rodons per cassetó. Per il·lustrar-ho més clarament, no hi figuren les armadures dels nervis.



Llores massisses. Les llores massisses, com que són fàcils d'executar i requereixen poca mà d'obra, comparada amb la que es necessita per realitzar un

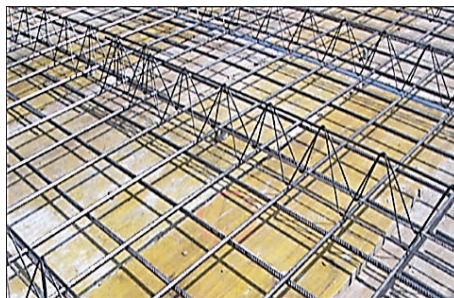


sostre reticular, són una solució freqüent als països centreeuropeus, per raó dels costos salarials. El seu aspecte negatiu és el pes que grava suports i fonaments.

En funció de la disposició dels seus armats, les lloses es poden concebre unidireccionals o reticulars. El seu plantejament estructural és similar al dels sostres que s'ha descrit en apartats precedents. Com que estan sotmeses a moments positius i negatius, a esforços de tall i a punxonament, necessiten dues capes d'armadures.

Per garantir el recobriment de la cara inferior, s'utilitzen separadors. La separació entre les armadures superior i inferior s'aconsegueix amb els anomenats "peus d'ànec" (fotografia esquerra inferior).

També es poden utilitzar com a separadors armadures espacials prefabricades, com es mostra a la fotografia de la dreta. En tot cas, s'ha de tenir en compte que, per realitzar el formigonatge, hi ha d'haver operaris caminant per damunt de les armadures, encara que sigui repartint-se el pes per mitjà de taulons i taulers.



Lloses posttesades. Les lloses posttesades permeten realitzar sostres d'altres prestacions, grans llums i càrregues amb cantells relativament reduïts. L'armat posttesat pot ser unidireccional o reticular. En tot cas, sempre es necessiten armadures passives.

El sistema consisteix a disposar unes beines de polietilè a la llosa segons la llei dels moments flectors. A la fotografia inferior esquerra, es pot apreciar que les beines són a la part alta de la llosa, a la zona de la creueta de punxonament (zona de moments flectors negatius), i baixen als centres dels buits (zones de moments flectors positius). Per l'interior de les beines, circulen tendons d'acer d'alta resistència.





Un cop el formigó s'ha endurit, s'aplica sobre els tendons la tensió establerta als càlculs per mitjà d'un gat hidràulic (fotografia superior dreta). La tensió es manté per mitjà de falques de bloqueig, que es reproduïxen a la fotografia inferior esquerra. A la de la dreta, es mostra un tendó, la falca de bloqueig, la placa de bloqueig (element rígid per repartir uniformement la pressió del tendó) i la beina. Les seves dimensions reduïdes es dedueixen de la comparació amb un escalímetre.



El formigó posttesat, com que sempre està comprimit, no es fissura, cosa que en garanteix la durabilitat. Malgrat les seves prestacions i l'eficàcia provada, es tracta d'una tècnica poc emprada al nostre país.

12.5 Els sostres semiprefabricats

Els sostres semiprefabricats responen a solucions constructives que busquen simplificar i racionalitzar el procés de construcció dels sostres tradicionals, per mitjà de combinacions de peces prefabricades i el seu formigonatge posterior. En tractar-se de peces de format petit i mitjà, es poden manipular manualment per un màxim de dos homes i es poden adaptar fàcilment a les plantes irregulars o a petites variacions dimensionals. S'utilitzen per minimitzar els estintolaments. Aquests, si són necessaris, es poden resoldre, segons les llums i les càrregues que han de suportar, col·locant sotaponts a la meitat o als terços de la llum.

12.5.1. Sostres unidireccionals semiprefabricats

Els sostres unidireccionals semiprefabricats estan formats per biguetes de formigó armat o pretesat, peces d'entrebigat alleugeridores, anomenades *cassetons*, armadures de negatius i mallat de compressió. El formigó abocat *in situ* omple els carcanyols dels cassetons, embeu les armadures i forma la capa de compressió.





Es tracta d'un sistema que segueix la tradició dels sostres de fusta. Genèricament, aquest tipus de sostre es coneix com a *sostre unidireccional semiprefabricat*, perquè tant les biguetes com els cassetons provenen de fàbriques.

Els cassetons poden ser de formigó, ceràmics o de poliestirè expandit (fotografies anteriors).

Les biguetes presenten una gran varietat de perfils i cantells, en funció de les càrregues i les llums que han de suportar. Es distingeixen dos tipus fonamentals de biguetes: les **autoresistents** (fotografia esquerra de la pàgina següent) i les **semiresistents** (fotografies central i dreta). Les primeres mostren un perfil quasi simètric. Les segones estan formades per semibigues (central) o per soles amb armadures triangulades (dreta).

Les biguetes autoresistents tenen, com a aspecte positiu, el fet que, un cop col·locades, suporten els cassetons i el formigonatge sense necessitat de sotaponts. Per contra, el seu pes és superior al de les semibigues.



Habitualment, les biguetes autoresistents s'utilitzen en llocs on la col·locació de sotaponts no en permetria la recuperació, com és el cas dels sostres sanitaris (fotografia interior esquerra). Per a la resta d'usos, les semibiguetes presenten avantatges, malgrat que requereixen sotaponts. Aquests se situen, segons els casos, al centre del buit (fotografia central) o en els terços (fotografia esquerra). A la fotografia de la dreta, es mostra una xarxa anticaigudes.

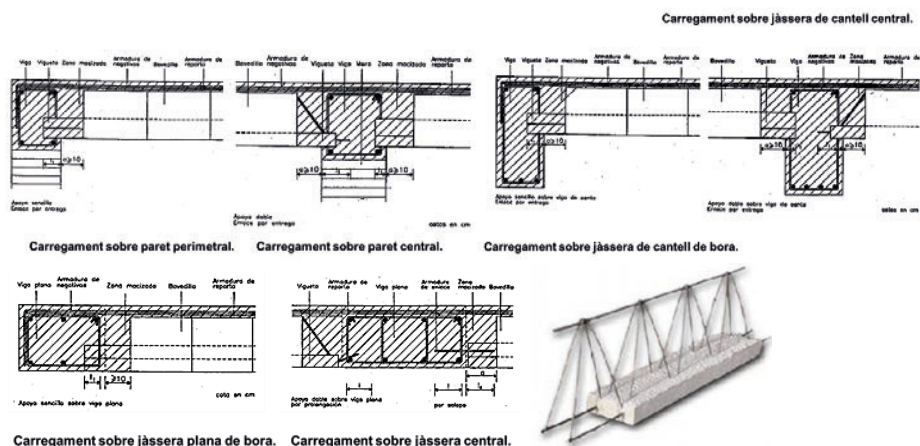


Si bé, des del punt de vista mecànic, els cassetons estan preparats per suportar el pes d'un home, la prudència recomana trepitjar directament sobre les biguetes quan es realitzen treballs o tasques d'inspecció abans de formigonar el sostre.

Els encontres entre sostres i suports presenten diverses tipologies en què s'observen dos aspectes comuns: la necessitat de disposar d'un recolzament



directe de la bigueta, al voltant dels 5-7 cm, i uns massissats de formigó de 10 cm o més, com es mostra als gràfics següents.



12.5.2. Prelloses

Estan formades per una placa armada realitzada al taller. Aquesta placa, un cop col·locada a l'obra, actua com un encofrat perdut. El prefabricat garanteix la bona qualitat de l'acabat de la cara inferior del sostre.

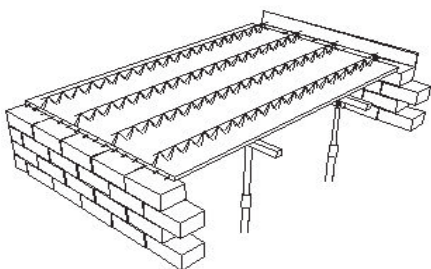
Les plaques poden ser armades o pretesades. Les prellloses pretesades solen tenir el cantell més gran que les armades, ja que es plantegen per a llums i càrregues més grans. La fotografia inferior esquerra mostra prellloses pretesades i la de la dreta, armades.



La placa prefabricada incorpora armadures longitudinals a trams regulars i cas-setons de poliestirè expandit en els espais intermedis. Les prellloses tenen una amplada estàndard d'1,20 m, que és la més habitual (però poden arribar a fer 2,40 m d'ample), per tal de facilitar-ne el transport, en posició horitzontal, fins a l'obra. Les prellloses no són autoportants i requereixen sotaponts situats a la meitat o a terços del buit, en funció de la llum dels trams, com es mostra



a l'esquema inferior esquerre. La fotografia de la dreta mostra dues prelloses armades: la superior, amb cassetons de poliestirè expandit, i la inferior, amb cassetons ceràmics.



Les prelloses, per raó de la seva gran superfície, es poden emprar amb avantatge respecte als sostres unidireccionals quan es tracta de cobrir grans superfícies contínues (fotografia esquerra de la pàgina següent). La fotografia següent de la dreta mostra un conjunt de prelloses estibades, preparades per ser transportades a l'obra.



12.6 Els sostres prefabricats

Els sostres prefabricats són peces realitzades al taller, resistents a la flexió, que es troben a punt per entrar en servei, de forma pràcticament immediata, un cop col·locades a l'obra. Aquesta prestació suposa que:

- Han de ser autoportants.
- Han de poder cobrir grans llums i suportar grans càrregues.
- Són de gran format i s'han de col·locar amb maquinària especialitzada.
- No necessiten capa de compressió.
- La seva posada en obra pot requerir formigonatges a les zones de recolzament i als encontres.

Els models de prefabricats que compleixen les especificacions indicades són les plaques alveolars i les bigues TT.

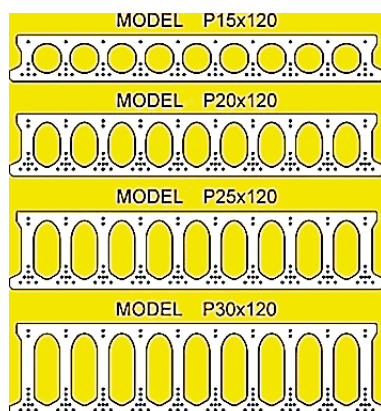


12.6.1. Plaques alveolars

Les plaques alveolars són peces planes de formigó pretesat i de cantell constant. Estan alleugerides per mitjà d'alvèols disposats en sentit longitudinal. La seva amplada estàndard és de 1.200 mm. Es fabriquen amb cantells i armats diversos, des de 100 mm fins a 1.000, en funció de les necessitats tècniques per a les quals es dissenyin, si bé el més habitual és que no excedeixin els 500 mm de cantell. Les llums entre recolzaments poden arribar a ser de 20 m.

El gràfic esquerra de la pàgina següent permet apreciar quatre seccions tipus de plaques alveolars amb cantells d'entre 15 i 30 cm. Cal destacar els perfils bisellats de les arestes exteriors per tal d'evitar que es deteriorin i facilitar-ne la manipulació; la disposició de les armadures pretesades, més abundants a la cara inferior, per absorbir les traccions de servei ocasionades per la flexió, i el fet que l'aleta superior vola menys que la inferior. El disseny reduït de l'aleta superior permet subjectar les plaques amb unes mordasses especials i alliberar-les un cop col·locades a l'obra (fotografia de la pàgina següent dreta).

També es fa referència de les plaques alveolars i de les seves aplicacions al capítol dedicat als prefabricats de formigó.



La fotografia inferior esquerra mostra plaques alveolars amb taps de poliestirè expandit als alvèols per tal d'evitar l'entrada innecessària de formigó als encontres amb els recolzaments. La fotografia central permet apreciar la construcció d'un sostre combinant plaques alveolars amb jàsseres prefabricades. La fotografia de la dreta correspon a un sostre de plaques alveolars amb el mallat col·locat a punt per formigonar la capa de compressió.





12.6.2. Bigues TT

Les bigues TT són peces prefabricades de formigó pretesat formades per un cap de compressió i dues ànimes que contenen les armadures de tracció, com es mostra a la fotografia inferior esquerra. El seu disseny lleuger les fa aptes per al transport.

Estan destinades, fonamentalment, a ser aplicades sobre recolzaments isos-tàtics. Habitualment, es complementen a l'obra per mitjà d'un mallat i el formi-gonatge d'una capa de compressió de 5 cm de gruix.

La fotografia dreta de la pàgina següent correspon a la col·locació de dues bi-gues TT sobre una jàssera d'una estructura prefabricada. S'hi poden observar les entalladures que s'han hagut de fer a la llosa superior, a la zona dels recolza-ments, per tal de lliurar el pilar.

Si bé s'utilitzen per a sostres de gran llum, la seva aplicació preferent és a les obres públiques. Els seus cantells oscil·len entre els 15 i els 250 cm. L'ample estàndard del tauler és de 120 cm. Permeten salvar llums de fins a 45 m.



Com a variants de les bigues TT, a les fotografies inferiors es mostren, d'esquerra a dreta, les bigues canal, les bigues tub i les bigues caixó, de fins a 160 cm de cantell.



12.7 Les prestacions estructurals dels sostres actuals, respecte dels antics

Els sostres antics estaven elaborats amb escairades de fusta natural. Aquest fet comportava una forta dispersió respecte a les capacitats resistents de les



bigues. L'eficàcia de les seccions que es col·locaven depenia exclusivament de l'experiència.

Es desconeixien les tècniques de càlcul. Com que els revoltos s'adaptaven als espais entre bigues, aquests es podien fer més grans o més petits per aprofitar al màxim la capacitat resistent que es podia esperar de les escairades i del tipus de fusta emprat.

Als sostres antics, se'ls demanava capacitat per suportar el seu propi pes, les sobrecàrregues permanents i les d'ús sense deformacions significatives, concepte que avui coneixem amb el nom de *rigidesa*.

La fusta és sensible als efectes de les càrregues permanents i als canvis d'humitat i de temperatura. Aquests efectes se solen traduir en forma de fletxes excessives, les quals, si bé per elles mateixes no afecten la capacitat resistent del sostre, es tradueixen en desnivells i en trencament o aixecament de les peces del paviment. Anivellar el sostre sense reforçar-lo comporta afegir més sobrecàrrega i que al cap d'uns anys es repeteixi una situació similar.

Als sostres antics, les bigues es recolzaven directament sobre el mur. La zona de biga d'entre 10 i 15 cm que es recolza sobre els murs s'anomena *carregament*. Des del punt de vista estructural, es tracta d'un recolzament simple.

Els sostres actuals es dissenyen i es calculen per donar una resposta adequada a tres requeriments bàsics des del punt de vista estructural: la rigidesa, el monolitisme i el congreny.

La rigidesa. La rigidesa significa la limitació i el control de les deformacions màximes del sostre al llarg de la seva vida útil, per mitjà del càlcul. Es tracta de garantir la compatibilitat entre els elements portants i els elements portats. En els edificis usals, se solen acceptar unes relacions de fletxa/llum de fins a 1/500, si els sostres suporten envans.

Els envans són elements molt sensibles a les deformacions dels sostres, a causa de la seva gran fragilitat. El seu cantell, en relació amb el seu gruix, els transforma en paraments esvelts i molt rígids, dues bones condicions per esdevenir fràgils.

El monolitisme. El monolitisme és una propietat volguda a la construcció, perquè garanteix que tots els elements constructius que conformen l'edifici tenen la capacitat de treballar conjuntament enfront de les sol·licitacions que el puguin afectar. Els edificis monolítics ofereixen un plus de resistència per raó del seu hiperestatisme.

En el cas dels sostres actuals, que habitualment són realitzats amb l'addició de biguetes, cassetons, armadures de negatius, armadures de repartiment i el formigonatge del conjunt per crear una capa de compressió, es persegueixen dos objectius:

- El comportament del conjunt com una placa en les dues direccions principals: en el sentit de les biguetes i perpendicularment a elles.
- La vinculació als suports amb un cert grau d'hiperestatisme; aquesta prestació s'anomena *congreny*.



El congreny. El poc gruix de les parets de càrrega resoltes amb fàbrica de totxo i l'escassa secció de contacte de les biguetes impedeixen aconseguir nusos rígids als seus encontres. Per tal de millorar el grau d'encastament entre el mur i les biguetes, es realitza un congreny perimetral armat i estrobat. Junt amb les armadures de negatius vinculades al congreny, s'aconsegueix un encastament de l'ordre del 10 % respecte al que oferiria un nus rígid perfecte.

12.8 La determinació aproximada dels moments en els sostres continus

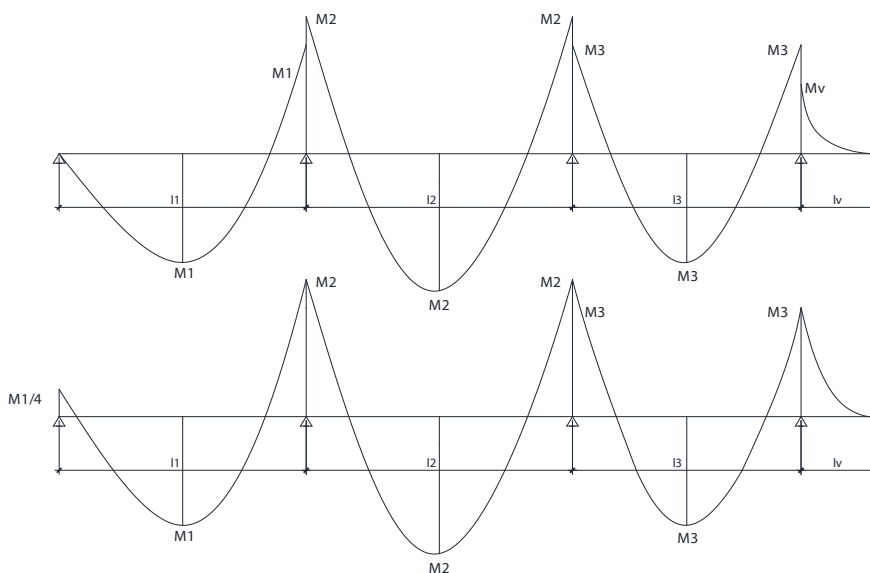
Per determinar, de forma aproximada i ràpida, els moments flectors en un sostre continu de biguetes unidireccionals, es pot emprar l'anomenat *mètode de les ròtules plàstiques*, esmentat a l'article 6.2 de l'antiga EF-88.

L'aplicació d'aquest mètode requereix:

- Un diferencial de llums entre trams consecutius no superior al 20 %.
- Una sobrecàrrega repartida uniformement no superior a 20 kN/m².
- Una sobrecàrrega no superior a un terç de la càrrega total del sostre.

Si es compleixen aquestes condicions –cosa que fan la majoria dels sostres unidireccionals destinats a habitatge–, no cal verificar les hipòtesis derivades de l'alternança de càrregues.

El moment isostàtic màxim sobre una biga recolzada uniformement, amb una càrrega de q kN/ml i una llum l , és de $ql^2/8$. Atenció el 2 és un exponent. Hauria de ser més petit. Quan les biguetes, gràcies a la col·locació d'armadures de negatius, actuen com un mitjà continu, els moments positius i negatius s'equilibren a cada tram, com es mostra al dibuix següent.





Als trams centrals, els moments positius i negatius, com que han de ser iguals, valen $ql^2/16$.

Els recolzaments extrems, excepte en el cas dels voladissos, tenen moment zero, perquè es tracta de recolzaments simples. Als trams extrems, el repartiment que en resulta val $ql^2/12$. Atenció al exponent, que és el resultat d'igualar el moment positiu al centre del buit amb el moment negatiu corresponent al recolzament contigu a un buit central.

El gràfic de la pàgina anterior mostra l'envolupant dels moments a fi de determinar l'estat final. El recolzament de l'esquerra es dota, com a mesura precautòria, d'un moment equivalent a la quarta part del moment central en el buit.

12.9 Els junts de dilatació als sostres. Solucions constructives

Els junts de dilatació constitueixen una solució constructiva eficient per minimitzar els efectes tèrmics i higrotèrmics que afecten els edificis de més de 30 m de llarg i/o d'ample. Consisteix a fraccionar els edificis grans en pastilles de dimensions inferiors a 30×30 m. El fraccionament afecta l'estructura i, en conseqüència, els sostres.

El coeficient de dilatació lineal del formigó és d' $1,2 \times 10^{-5}$. Si es considera que es produeix un salt tèrmic de 40°C entre el dia més calorós i el més fred d'un any en un edifici de 30 m de llarg, es té:

$$1,2 \times 3.000 \text{ cm} \times 40^\circ\text{C}/100.000 = 1,44 \text{ cm}$$

És a dir, l'edifici s'allargaria, com a màxim, 0,72 cm a cada extrem. Per aquest motiu, s'acostumen a fer junts de dilatació de 2 cm als edificis. Així, es dona marge als canvis de dimensió provocats per causes tèrmiques. Aquests, en condicions naturals, sempre són inferiors a 1 cm per costat.

La fàbrica de totxo té un coeficient de dilatació aproximadament de la meitat del formigó. Per aquest motiu, els edificis resolts amb murs de càrrega tenen més tolerància als efectes tèrmics. En aquest tipus de construccions, els junts de dilatació s'han de preveure a distàncies inferiors als 40 m.

El diferencial entre els coeficients de dilatació del formigó i la fàbrica de totxo, la diferent velocitat d'escalfament d'ambdós materials, un protegit i l'altre en contacte directe amb l'atmosfera, i les situacions d'assolellament produeixen tensions que molt sovint són inassolibles per les fàbriques de totxo emprades com a tancament.

Davant d'aquesta situació, i a manca de normativa específica, els fabricants de materials ceràmics per a la construcció, representats per l'Associació Espanyola de Fabricants de Maons i Teules d'Argila Cuita (HISPALYT), recomanen als seus manuals fer junts de treball en els tancaments de les estructures de formigó amb totxo a distàncies inferiors als 15 m.

La solució més comuna per fer junts de dilatació és doblar l'estructura, com es mostra a la fotografia esquerra de la pàgina següent, en què es pot apreciar la



col·locació de dos angulars per protegir les arestes que resulten de la interrupció del forjat.

La fotografia central correspon a un encreuament de junts de dilatació que es resol per mitjà de quatre pilars. I, a la fotografia de la dreta, s'observen els aspectes següents:

- El pilar de la dreta s'ha realitzat en primer lloc: s'hi pot observar el bisellat de l'aresta en contacte amb el junt.
- Un cop realitzat el primer pilar i retirat l'encofrat, s'ha fixat sobre la cara de contacte una làmina de poliestirè extrudit de 2 cm de gruix, que impedeix el contracte entre els formigons.
- Finalment, s'ha procedit al formigonatge del pilar de l'esquerra, emprant com a encofrat la cara de contacte amb el primer pilar.



Doblar i, fins i tot, quadruplicar pilars suposa perdre espais que, a vegades, són molt valuosos per permetre, per exemple, la maniobra dels vehicles o el pas de les instal·lacions, o per no malmetre zones representatives dels edificis.

Com a alternativa constructiva a les pèrdues d'espai esmentades, hi ha els connectors, que uneixen la zona de sostre portant amb la portada, per mitjà del seu treball a esforç tallant. Per ubicar els passadors, cal realitzar bigues de vora potents, especialment la que rep la càrrega del forjat portat.

En els connectors, fonamentalment es distingeixen dos elements: els ancoratges i la secció resistent, allotjada en una beina en un dels costats. A les tres fotografies següents, corresponents a models diversos de connectors, un d'ells doble, es poden apreciar conceptes similars.





Els ancoratges reparteixen per torsió, en el si del formigó, l'esforç de tall que prové de la secció resistent, realitzada habitualment amb acer inoxidable, amb un límit elàstic de l'ordre dels 900 N/mm². Se'n garanteix la durabilitat i la capacitat resistent.

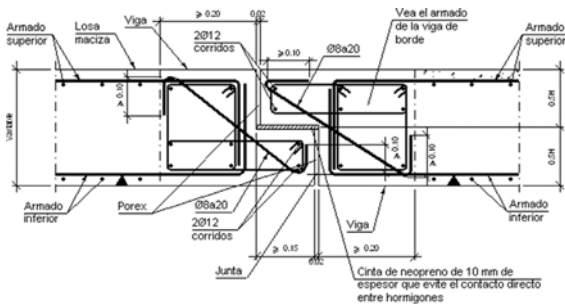
El sostre que es construeix en primer lloc és el que disposa del costat femella perquè, si no, caldria foradar l'encofrat corresponent al cantell del sostre. Un cop formigonat el primer sostre, una làmina de poliestirè expandit de 2 cm de gruix és suficient per crear el junt.

Els passadors, si bé resolen problemes d'espai, tenen algunes limitacions d'ús. La primera es deriva del seu caràcter metàl·lic i, en conseqüència, de la seva resposta enfront al foc, atesa la seva gran càrrega i la seva reduïda secció. Caldrà, doncs, protegir els connectors en funció de l'ús de l'edifici. La segona es deriva dels efectes sísmics. Per tant, caldrà limitar-ne l'ús en aquelles zones en què l'acceleració sísmica superi els 0,16 g.

A títol indicatiu, els diàmetres de les barres oscil·len entre els 22 i el 30 mm. Les càrregues per passador, per a junts de 20 mm, se situen entre les 5,75 i les 18 t. Les separacions mínimes entre els eixos dels passadors són de 320 a 480 mm, per tal de garantir la transmissió correcta dels esforços.

La fotografia inferior esquerra, presa des de l'interior de l'armadura d'una llosa, mostra, al fons, els connectors a punt per a ser formigonats.

El gràfic de la dreta ofereix una solució alternativa per mitjà del rebaix de la secció del sostre per crear un recolzament continu, interposant una làmina de neoprè a la zona de contacte. S'hi pot observar la col·locació d'armadures diagonals i d'estreps per absorbir traccions i esforços de tall en seccions reduïdes, en funció de la geometria de la unió.







La pell dels edificis

13.1 La pell dels edificis. Primers conceptes

Referir-se a la “pell” de l’edifici és una pràctica habitual en el món de la construcció. Aquesta referència anatòmica equival al sistema de tancaments, excloent-ne únicament les divisòries interiors, a les quals es fa referència al capítol següent.

La pell de qualsevol ésser viu és la part que està en contacte directe amb l’atmosfera, i que l’aïlla i el protegeix de l’ambient exterior. En el cas dels edificis, aquesta està formada, en general, per les zones en contacte directe amb el sòl, per la coberta i per les façanes, tant si són exteriors com de patis interiors.

L’exposició constant a la intempèrie comporta canvis d’humitat i de temperatura al llarg del cicle dia-nit i dels canvis estacionals. En aquest quadre, cal considerar, a més, els efectes del vent de la pluja i de les eventuals gelades.

La incidència física i química dels agents atmosfèrics és una raó important per la qual cal triar molt bé els materials constituents dels tancaments, per tal de garantir-ne la durabilitat i el baix manteniment.

Seguint amb el símil anatòmic, a la pell dels edificis, com a la dels éssers vius, hi ha forats per garantir l’intercanvi correcte entre l’interior i l’exterior. En ambdós casos, es disposa de mecanismes per obrir-los i tancar-los, en funció de les necessitats de cada moment. Els edificis tenen portes, finestres, persianes, claraboies i cortinatges, la funció dels quals és contribuir a garantir la il·luminació, la ventilació i el confort interior.

Aconseguir el confort interior adequat, siguin quines siguin les condicions exteriors, és un repte que esdevé més complex en la mesura que augmenta la distància entre les condicions d’humitat i de temperatura exteriors i les que es consideren de confort per a les persones a l’interior dels edificis: entre 20 i 25 °C de temperatura i un 50 % d’humitat.



Per obtenir unes bones condicions de confort interior, s'ha de poder garantir:

- Estanquïtat
- Aïllament i control tèrmic
- Aïllament acústic
- Control de la humitat ambiental
- Control lumínic
- Control de les renovacions d'aire i la seva salubritat

Aconseguir un control total dels paràmetres indicats requereix, en la majoria dels casos, aportar energies externes. Tanmateix, la pell de l'edifici, si ha estat dissenyada correctament, contribueix a disminuir substancialment el consum energètic de l'edifici.

La pell de l'edifici la conformen el conjunt de les seves superfícies, planes o corbades, verticals, horitzontals i/o inclinades, que estan en contacte directe amb l'atmosfera i/o amb el terreny.

La pell de l'edifici, junt amb les divisòries interiors, constitueix el sistema de tancaments.

Segons aquesta definició, està composta per:

- Les façanes exteriors
- Les façanes interiors (patis)
- Les parets mitgeres (si n'hi ha)
- Els sostres desprotegits (edificis amb la planta baixa sense tancar o altres situacions similars)
- Les zones sota rasant en contacte directe amb el terreny
- Les cobertes

Excepte en les zones ubicades sota rasant, totalment opaques i necessàriament estanques, en la resta dels elements cal distingir les parts opaques de les zones que permeten el pas de la llum natural i, si és el cas, la ventilació de l'edifici.

Tota discontinuïtat en la pell de l'edifici és una font potencial de conflictes que cal tractar i resoldre des de la construcció per tal de garantir un resultat conjunt durable, funcional i estèticament satisfactori.

Les quatre fotografies de la pàgina següent són un petit exemple de la diversitat de solucions constructives que imposen les pells dels edificis, en funció del seu ús, de la ubicació, del caràcter o de l'època de construcció. Totes elles estan orientades, amb més o menys fortuna, a donar resposta als requisits estructurals, funcionals, de seguretat i estètics, de forma durable i econòmica.

La fotografia superior esquerra correspon a un mur cortina; la superior dreta, a un pati interior; la inferior esquerra, a una coberta de tipus deck, i la inferior dreta, a una coberta de pissarra, resolta amb un fort pendent per evitar eventuais acumulacions de neu.



13.2 Funcions de la pell dels edificis

La pell dels edificis és –o hauria de ser– el resultat de l'addició estructurada i tècnicament ben resolta d'un conjunt heterogeni d'elements constructius, coordinats entre si, per donar resposta a un ampli espectre de requisits de tipus tècnic i sensible.

Sense cap pretensió d'exhaustivitat, la pell dels edificis resulta determinant en els aspectes següents:

- La delimitació de les formes interior-exterior i la formulació dels volums generals.
- La definició i la lectura de la imatge visual de l'edifici: caràcter, textures, colors, relació amb l'entorn...
- L'accés i la sortida de persones i objectes, la relació interior-exterior i la seva funcionalitat.
- Anàlogament a la pell humana, ha de constituir una barrera estable, durable i sostenible enfront de:
 - Els agents atmosfèrics –pluja, gelades, vent, variacions tèrmiques, raigs de l'espectre lumínic visible i invisible...–; en definitiva, ha de garantir l'estanquitat, la qual ha de ser compatible necessàriament amb un cert grau de permeabilitat controlada, per garantir la ventilació i l'assolellament.
 - Els factors que impedeixen assolir el confort higrotèrmic, la il·luminació natural i la ventilació a l'interior de l'edifici. Aquestes exigències es poden atendre i complementar, si cal, per mitjà d'aportacions mecàniques.



- La presència eventual d'aigües freàtiques. A les zones sota rasant, en què l'edifici està en contacte directe amb el terreny, la pell ha de ser tractada especialment per tal de garantir l'estanquitat.
- Situacions extremes, de caràcter accidental o provocades (sismes, explosions), actes vandàlics o incendis. La pell dels edificis ha d'oferir garanties d'estabilitat, més enllà de les accions de servei, encara que, com a conseqüència de determinades accions extraordinàries, pugui resultar malmesa de forma irreversible. Recursos extrems com la ductilitat de l'acer estructural, la utilització de fixacions mecàniques eficients o la resistència addicional de determinats tancaments sense funció estructural aparent poden marcar la diferència entre la vida i la mort dels ocupants d'un edifici.

Les quatre fotografies inferiors mostren, a petita escala, la diversitat de les pells que identifiquen i donen caràcter a edificis de tipus terciari (fotografia superior esquerra), residencials (fotografies superior dreta i inferior esquerra) i aeroportuari (inferior dreta).



13.3 Estudi analític de les característiques generals dels elements que configuren la pell dels edificis

L'estudi analític de les característiques generals dels elements que configuren la pell dels edificis es desenvolupa d'acord amb l'ordre dels elements constitutius indicat a l'apartat 1 d'aquest capítol.



13.3.1. Les façanes exteriors.

Presenten façanes exteriors tant els edificis aïllats com els edificis entre mitgeres (façana principal al carrer i façana posterior al pati d'illa). Als edificis aïllats, per bé que tenen una façana principal de caràcter representatiu, el tractament del conjunt de les façanes sol ser equilibrat. En canvi, als edificis entre mitgeres, és molt usual que existeixin diferències notables entre la qualitat de la façana principal i la de la posterior.

Amb independència de les seves funcions constructives, ja enunciadades, les façanes constitueixen el primer element d'interacció de les persones amb l'edifici. Aquestes en funció dels seus interessos i/o formació, en faran una lectura i una valoració més o menys detallades.

L'observació detallada d'una façana informa a qui la fa d'una gran diversitat d'aspectes, si disposa d'un mínim bagatge humanístic i tècnic.

A títol indicatiu:

- El tipus d'edifici, en funció del seu ús i morfologia: residencial, d'oficines, sanitari, docent...La qualitat general de l'edifici quant a plantejaments de tipus arquitectònic i constructiu: edifici monumental, singular, d'autor; de qualitat alta, mitjana, baixa...
- L'època de construcció, habitualment associada a un estil arquitectònic.
- La tècnica o les tècniques constructives emprades.
- Els materials emprats, tant a les parts opaques com a les permeables a la llum
- La relació, en percentatge, entre les zones massisses i les permeables a l'aire i a la llum.
- Les textures i els cromatismes.
- La presència d'elements constructius i estètics de caràcter singular: tribunes, balcons, sòcols, motllures, ràfecs...
- L'estat de conservació i la presència o no de patologies.
- La integració o no de l'edifici dins del paisatge urbà del seu entorn.

Disseny constructiu i composició genèrica de les façanes exteriors. Requisits i prestacions.

L'anàlisi de l'arquitectura clàssica mostra que les façanes es resolien i, en molts casos, es continuen resolent en tres seccions, de baix a dalt:

- Una zona de sòcol, especialment resistent als impactes provocats per l'ús i per l'erosió dels esquitxos de les aigües pluvials. Sovint, s'estén a tota l'altura de la planta baixa. Serveix també per emfasitzar l'accés o els accessos de l'edifici
- Un espai intermedi, que comprèn les plantes pis, en què la resistència mecànica superficial dels paraments pot ser inferior. Un estuc a la calç, un revestiment monocapa o un mur cortina exemplificarien aquesta qüestió.
- Un coronament volat, sovint motllurat (cornisa), amb la doble funció de protegir el pla de la façana, i generar situacions de llums i ombres, que confereixen volum i caràcter al conjunt de la façana.



Com a exemple de la perdurabilitat d'aquest model compositiu, observem les façanes del Palazzo Medici Riccardi (fotografia inferior esquerra) construït per Michelozzo di Bartolomeo l'any 1444 (1396-1472), i de la caserna de la policia de Detroit, construïda per Albert Kahn (1869-1942) l'any 1923. Més de quatre segles i mig separen ambdues obres i, en canvi, les seves façanes són molt similars conceptualment.



Amb independència dels materials i de les tècniques constructives emprades en la composició d'una façana, cal no oblidar els requisits bàsics derivats de l'"ofici". És necessari integrar, en aquelles zones i situacions que ho requereixen, pendents, trencaigües, escopidors i elements de segellat per tal de garantir el principi constructiu d'"aigües fora".

Negligir o obviar els requisits funcionals bàsics de disseny en una façana pot comportar reclamacions de tipus particular o per via judicial. En tot cas, causarà un envelliment prematur de l'edifici i sobre costos de manteniment. Les fotografies inferiors mostren desperfectes i acumulacions de brutícia com a conseqüència de la manca de previsió en el disseny, i durant l'execució, d'ampits i cornises dotats de trencaigües i amb la volada suficient per evitar regalims.



Tipologies constructives de les façanes exteriors. Si bé la diversitat de solucions constructives per a les façanes és molt extensa, aquest apartat se centra en l'estudi dels quatre models genèrics:

- Paret monocapa
- Paret multicapa
- Façana ventilada



– Mur cortina

Cal tenir present que una façana és un element complex en el qual s'alternen les zones opaques amb les zones permeables a la llum i al pas de l'aire, i que és l'element més feble el que acaba determinant el comportament final del conjunt.

A tall d'exemple, per molt gruixuda que sigui una paret, només millorarà en uns 5 dB l'aïllament acústic propi d'una finestra que hi tingui instal·lada.

Des del punt de vista tèrmic, una finestra proveïda amb vidre senzill té una conductivitat tèrmica de $5,6 \text{ Kcal/h m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Una paret multicapa, amb un aïllament tèrmic lleuger, es pot situar en unes $0,56 \text{ Kcal/h m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, fent números rodons. És a dir, un 1 m^2 de finestra equival a 10 m^2 de façana. D'aquí la importància d'incidir, de forma preferent, en la millora dels tancaments de les obertures de la façana en les operacions de rehabilitació tèrmica dels edificis.

La paret monocapa.

Les parets monocapa són la solució constructiva més antiga, derivada de les parets de pedra seca i d'argila assecada al sol, en funció de les disponibilitats i del clima de cada entorn.

Les seves evolucions posteriors inclouen la incorporació de morter en els junts i originen el mur romà de doble cara. Aquest es mantindrà durant molts segles, aprimant-se progressivament fins a donar el relleu, a mitjan segle XIX, al totxo massís de fabricació manual, que és desbancat pels totxos mecànics a partir dels anys cinquanta del segle passat.

A continuació, es mostren dos exemples d'edificis resolts amb parets monocapa. Malgrat que els separen deu segles, el concepte estructural és similar: parets de càrrega monocapa. La fotografia inferior esquerra correspon al monestir de Sant Pere de Roda (Girona), construït entre els segles X i XII. La fotografia de la dreta mostra les cases Ramos, situades a la plaça de Lesseps, 30-32, Barcelona. Són tres edificis units per una façana comuna, construïts l'any 1906 per l'arquitecte Jaume Torres i Grau (1879-1945).



La paret monocapa, malgrat les seves limitacions tècniques i mecàniques, és multifuncional, ja que actua com a tancament, com a estructura i com a definidora de volums i d'espais.



Un darrer intent, sense gaire èxit, de recuperar per a la construcció la paret monocapa el fa la indústria de la ceràmica als anys noranta del segle xx amb la Termoarcilla® (v. capítol 9).

La millora de l'estètica dels paraments, associada a barrar de forma eficient el pas de l'aigua, fa que les parets monocapa es revesteixen interiorment i exteriorment, primer amb morter de calç i, més tard, per estalviar costos i facilitar la feina, amb guix per acabar els interiors.

L'aplicació superposada de dues capes d'estuc de colors contrastats permet realitzar-hi esgrafiats, amb la millora estètica consegüent. Aquesta tècnica per decorar paraments és molt antiga, atès que ja està documentada en les civilitzacions mesopotàmiques (4.000 a. de C.). Posteriorment, fou emprada a l'època romana i durant el Renaixement. A Catalunya, l'ofici d'esgrafiador està documentat des de mitjan segle xvi, amb punts àlgids durant el modernisme i el noucentisme xvi.

Les fotografies inferiors corresponen a dos exemples de façanes esgrafiades de Barcelona, força separades en el temps. A l'esquerra, la Casa dels Velers, de l'any 1763. A la dreta, el Grup Escolar Pere Vila, inaugurat l'any 1931, obra de l'arquitecte noucentista Josep Goday (1882-1936).



Amb l'aparició del ciment pòrtland, els estucs són substituïts –no sempre amb èxit– per arrebossats i pintats amb pintures de base acrílica o de silicats.

Actualment, per la seva facilitat d'aplicació i per la gamma de colors disponibles, els paraments de les façanes, siguin o no de tipus monocapa, se solen acabar amb els anomenats *estucs monocapa*, barreges molt precises de ciment pòrtland blanc, àrids silicis, pigments i resines, preparades a les fàbriques.

Les parets monocapa constitueixen una solució constructiva pràcticament en desús avui.

Les raons que han conduït al seu abandó són diverses i es deriven de la constatació dels seus dèficits importants respecte de les prestacions que ofereixen altres solucions constructives.



Les necessitats funcionals dels edificis actuals porten a l'especialització. L'estructura es construeix amb independència dels tancaments, amb el propòsit d'aconseguir la màxima eficiència de cada element constructiu.

Les parets monocapa constitueixen un recurs constructiu multipropòsit. Les seves prestacions queden desfasades respecte de les que ofereixen solucions més especialitzades. Des de l'òptica de les construccions actuals, les parets monocapa resulten inapropiades per diverses raons:

- El seu pes, derivat de la seva concepció massissa, incompatible amb una estructura portant que requereix tancaments lleugers.
- Són cares i lentes de construir, per raó de la quantitat de material que s'hi ha d'emprar i per la concepció artesana de les fàbriques.
- Resulten ineficients, des del punt de vista tèrmic, a causa de l'alta transmissió tèrmica dels seus materials.

En canvi, ofereixen:

- Bon aïllament acústic, per raó de la seva massa, sempre que la seva continuïtat no quedi alterada per la presència d'obertures amb un aïllament acústic deficient.
- Són resistents al foc perquè els materials que les conformen són incombustibles.

La paret multicapa

La incorporació de les parets multicapa a la construcció sorgeix de la recerca de noves tipologies constructives per donar resposta a les exigències socials. Es reclama més seguretat estructural i d'ús, i més confort pel que fa a les condicions tèrmiques i acústiques.

La paret multicapa pren força com a tancament de façana a partir dels anys seixanta del segle passat, com a conseqüència de:

- La voluntat de realitzar models d'edificis més alts que els precedents (de deu plantes o més).
- La necessitat de garantir més seguretat als nous edificis enfront de les accions horitzontals respecte de la que ofereixen els edificis construïts amb parets estructurals.
- L'adopció d'estructures de barres amb capacitat portant totalment independent de l'aportació dels murs de la façana, que, per contra, s'han de nodrir de solucions lleugeres. Els tancaments de la façana són un pes que actua constantment sobre l'estructura.
- La necessitat d'especialització funcional de la pell de l'edifici per tal d'obtenir-ne millors prestacions, especialment tèrmiques. L'evolució dels



tancaments per donar resposta a una bateria de requisits cada cop més exigent és un dels vectors de la construcció tecnològica.

- El desenvolupament de la indústria de la ceràmica perforada i foradada, orientada a produir tancaments menys pesants sense que perdin les seves prestacions bàsiques, entre d'altres objectius.

La paret multicapa, constituïda per dos fulls de ceràmica, és, malgrat tot, una solució pesant, d'uns 35 kN/m². Aquest fet obliga a col·locar bigues de vora als sostres sobre les quals es disposen les parets multicapa. Si es compara amb una paret equivalent de totxo massís (54 kN/m²), la reducció de pes és del 35 %, un valor prou significatiu però allunyat de les solucions tecnològicament més avançades.

Malgrat els seus dèficits i defectes, la paret multicapa fou la solució emprada majoritàriament per fer tancaments de façanes d'edificis residencials fins a l'esclat de la bombolla immobiliària l'any 2007. Quan l'activitat de la construcció es normalitzi, caldrà observar quines seran les solucions constructives que marcaran el futur.

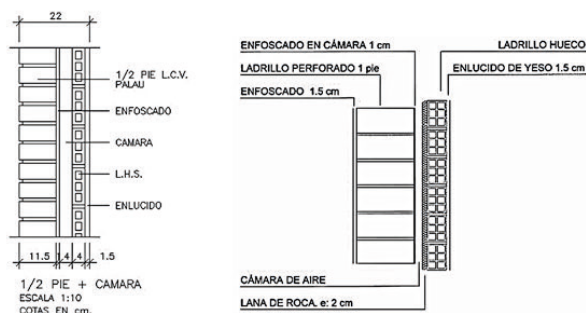
La paret multicapa original. Als seus orígens, les parets multicapa de façana estaven formades per dos fulls de ceràmica que tancaven una cambra d'aire sense cap aïllament tèrmic incorporat al seu interior.

La seva composició habitual era:

- Una paret exterior de totxo, perforat o foradat, de 15 o de 12,5 cm, segons si es tractava del format català o del mètric, respectivament. Rarament s'utilitzaven totxos massissos de fabricació manual, pel seu cost elevat.
- Una cambra d'aire de 10 o de 7,5 cm de gruix.
- Un envà interior de totxo foradat, de 5 cm de gruix, acabat amb guix per la cara interior i pintat.

Com es pot apreciar, es continuen mantenint els gruixos tradicionals de 30 i 25 cm, segons el tipus de format de totxo emprat. El gràfic inferior mostra, a l'esquerra, una solució de cambra d'aire sense aïllament i, a la dreta, la incorporació d'un aïllament de llana de fibra de roca de 2 cm. La fotografia de la dreta mostra la incorporació a la cambra d'una làmina de poliestirè expandit.

Solucions tradicionals de parets multicapa.





Al diferència de les parets mitgeres, que tenen un envà pluvial a la cara exterior, a les parets multicapa originals l'envà es col·loca a la cara interior del parament de la façana. Com que a la cara interior no es poden deixar forats de ventilació, la paret multicapa confia en l'estanquitat de la capa exterior.

En el cas dels totxos perforats, també anomenats *geros*, es troben solucions a "cara vista", que conviuen amb paraments arrebossats amb ciment pòrtland i pintats. Els totxos foradats només admeten la segona solució, per raó del seu acabat i del gruix reduït de les seves parets.

En els primers edificis realitzats amb parets multicapa, es varen emprar estucs a la calç per revestir la cara exterior. Pel seu cost elevat, aviat varen ser substituïts per arrebossats pintats i, més recentment, per estucs monocapa.

En tractar-se de tancaments portats per l'estructura, els fulls de paret es recolzen en el forjat inferior i ascendeixen fins a la cara inferior del sostre immediatament superior. En les solucions a "cara vista", l'encaix del full exterior entre sostres obliga a replantejar curosament el gruix dels junts per tal d'encabir exactament el pla de paret en l'espai resultant entre sostres.

Una aportació tecnològica important és la incorporació, en el gruix del mur, de caixes prefabricades o semiprefabricades per contenir-hi persianes enrotllables.

L'aïllament tèrmic de les parets multicapa, si bé millora les prestacions d'un mur massís, continua oferint unes prestacions baixes. El consum energètic per mantenir un nivell de confort acceptable és molt elevat respecte als paràmetres mínims actuals que defineix el CTE. En les primeres èpoques d'aplicació del model, tampoc no es tractaven els ponts tèrmics dels fronts de forjat i els generats per les caixes de persiana.

Els ponts tèrmics a les parets multicapa i la seva casuística. En aquest apartat, s'exposen les solucions constructives que s'han anat incorporant a les parets multicapa al llarg del temps. El propòsit d'aquestes solucions és adaptar les prestacions del model a uns requisits cada cop més exigents, emparats per l'aparició de materials aïllants molt eficients, dissenyats per la indústria química. La sostenibilitat i el respecte al medi ambient, i el preu del petroli, han estat els vectors que han generat aquest procés.

Les solucions constructives que s'analitzen són:

- Els ponts tèrmics del front del forjat
- Els ponts tèrmics de la caixa de la persiana
- Les millores introduïdes amb el pas del temps, fins avui, a les parets multicapa per reduir-ne la transmitància tèrmica

Tres solucions constructives per als ponts tèrmics del front del forjat. Es donen tres possibles solucions, de les quals l'única realment vàlida per donar resposta a les exigències del CTE és la tercera. Les altres dues són recursos d'emergència que es van aplicar més per complir una norma laxa, com la NBE-CT-79, que per convenciment.



- **Solució 1.** Consisteix a voler el full exterior multicapa 5 cm respecte de l'alineació de l'estructura. En aquestes condicions, la cara del sostre queda retirada 5 cm respecte del pla definit pel full de tancament. En el reclau que en resulta, es poden col·locar 2 o 3 cm d'aïllament tèrmic en el front del forjat i revestir-lo amb plaqueta o amb un rajol, en les solucions a "cara vista". Si es tracta de façanes arrebossades i pintades, l'aïllament es cobreix amb una malla, per tal de fixar l'arrebossat.

El gràfic inferior esquerre mostra un tancament de façana mal resolt. Es generen ponts tèrmics en els pilars i en els fronts dels forjats. La termografia central és prou eloqüent en aquest sentit.



Com es pot apreciar, l'aïllament que es pot aplicar en els fronts del forjat té un gruix molt minso. A més, penalitza el recolzament del full ceràmic exterior. Aquest queda reduït tan sols a 2/3 del gruix del totxo. La deformació dels forjats pot generar tensions inassolibles per a les plaquetes. Així doncs, aquesta solució és pràcticament inaplicable, per inestable, en els totxos de format mètric. Es produeix poca millora tèrmica, a causa del gruix escàs (3 cm) de l'aïllament tèrmic (gràfic superior dret).

Malgrat les seves deficiències, va ser la solució que es va aplicar generalment en els edificis d'habitatge de nova planta que es varen construir a l'època compresa entre els anys 80 fins l'aparició del CTE l'any 2006. En altres casos, senzillament no es corregia el pont tèrmic, davant la laxitud dels controls de l'Administració.

- **Solució 2.** Aquesta solució és molt habitual quan es tracta de corregir déficits d'aïllament tèrmic en edificis construïts a un preu econòmic. L'aïllament tèrmic es col·loca a la cara exterior de l'edifici amb fixacions mecàniques (gràfic inferior esquerre i fotografies central i dreta). A la fotografia de la dreta, es pot apreciar la col·locació de morter sobre el mallat per evitar fissuracions. Els veïns poden continuar utilitzant els seus habitatges, ja que la intervenció es realitza per mitjà de bastides exteriors.





Es tracta d'un aïllament continu amb el qual es resolen els ponts tèrmics de les caixes de les persianes i dels fronts dels forjats. Un cop fixat mecànicament l'aïllament tèrmic, cal donar-li un acabat per mitjà d'un mallat i l'aplicació d'un morter monocapa.

Com que l'aïllament tèrmic és relativament tou, la superfície que resulta de l'aplicació del mallat i el morter monocapa necessita una protecció específica a les zones de la planta baixa.

Com s'ha indicat, es tracta d'una solució més pròpia d'una rehabilitació energètica que per a ser aplicada en edificis de nova construcció.

- **Solució 3.** Consisteix a resoldre els paraments d'acord amb la disposició constructiva pròpia d'una façana ventilada. És la solució més comuna i versàtil, i la que dona una resposta acurada als requisits tèrmics actuals del CTE. Igual que en el cas anterior, l'aïllament tèrmic es col·loca o es projecta per l'exterior de l'edifici, sense cap limitació de gruix.

La diferència respecte de la solució 2 és que es disposa, per davant d'aquest i deixant una cambra d'aire de 4-5 cm de gruix, una pell d'acabat modulada, fixada sobre una subestructura de suport subjectada al tancament. La cambra d'aire garanteix l'assecatge ràpid de l'aïllament tèrmic en cas de pluja. També contribueix a millorar l'aïllament tèrmic per convecció.

La pell d'acabat es pot resoldre amb materials diversos: ceràmica, aplacats de pedra natural, materials sintètics com el Trespa® o compòsits com l'ALUCOBOND®.

La fotografia inferior esquerra mostra la col·locació contínua de l'aïllament tèrmic sobre el pla de la façana, sobre la qual es fixa la subestructura de suport. La fotografia de la dreta permet apreciar l'acabat final de la façana realitzada amb un panell d'ALUCOBOND® de gran format.

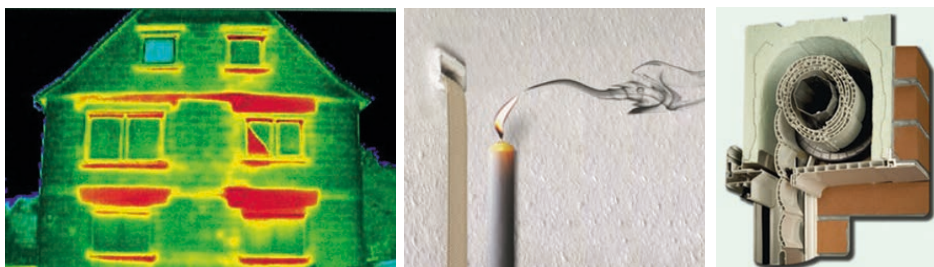


El tancament de suport també pot ser divers: una fàbrica de totxo o de bloc, una subestructura metàl·lica o elements prefabricats.

A les façanes ventilades, cal tenir molta cura en la resolució constructiva de les obertures per tal de garantir-ne l'estanquitat.



Els ponts tèrmics a les caixes de les persianes. En les primeres solucions de parets multicapa, les caixes de les persianes, amb un gruix exterior d'uns 5 cm, no rebien cap mena de tractament per tal de trencar el pont tèrmic. En conseqüència, el registre interior de la persiana, format per una senzilla fullola o, encara pitjor, per una xapa d'alumini, es convertia en un transmissor tèrmic. Cal tenir en compte el contacte directe de la caixa de la persiana amb l'exterior, a causa de les franquícies entre l'aleta d'aquesta i la persiana, que sovint són superiors als 2 cm. La termografia inferior esquerra mostra els ponts tèrmics generats per les caixes de persiana. La fotografia central permet apreciar el corrent d'aire que es pot generar pel registre de la cinta; la de la dreta detalla la secció d'una caixa de persiana aïllada correctament.



Les primeres actuacions se centren a aïllar tèrmicament el caixó i el registre. Es redueixen els espais disponibles entre les parets interiors de la caixa i la persiana i, a vegades, el registre acaba sobresortint del pla de la paret, a causa dels gruixos dels aïllaments tèrmics.

També es corregeix la manca d'estanquitat de la caixa de la persiana, per les folgances excessives entre l'obra i la fusteria, a les quals ja s'ha fet referència. Si el registre no està ben segellat, l'efecte encara és superior. En aquestes situacions, es generen corrents de convecció molt molestes, especialment a l'hivern. En tot cas, apareixen dipòsits de pols filtrada de l'exterior al voltant del registre.

Per corregir aquesta situació, primer cal ajustar la dimensió del faldó del caixó de la persiana per tal que la folgança entre aquest i la persiana no sigui superior a 1 cm. En segon lloc, la disposició d'un raspall en aquesta zona ajuda a mantenir neta la persiana i garanteix més estanquitat al pas de l'aire. Finalment, cal ajustar adequadament el registre de la persiana.

Millores introduïdes fins ara a les parets multicapa per reduir-ne la transmissió tèrmica. La primera millora que es va introduir a les parets multicapa per tal de millorar-ne l'eficiència tèrmica es va produir com a conseqüència de la crisi del petroli de l'any 1973. Per reduir la factura energètica dels edificis fins en un 40 % respecte als estàndards habituals de l'època, es va veure la conveniència d'introduir a la cambra d'aire un aïllant tèrmic eficient, en forma de plaques, de mantes, de projectat o de granulat.

Inicialment, el producte aïllant més popular per a la construcció era el polièstirè expandit. Es va donar a conèixer l'any 1925 i es va produir industrialment a partir de 1930 a Alemanya. Té unes propietats que són referents per a qualsevol producte aïllant:

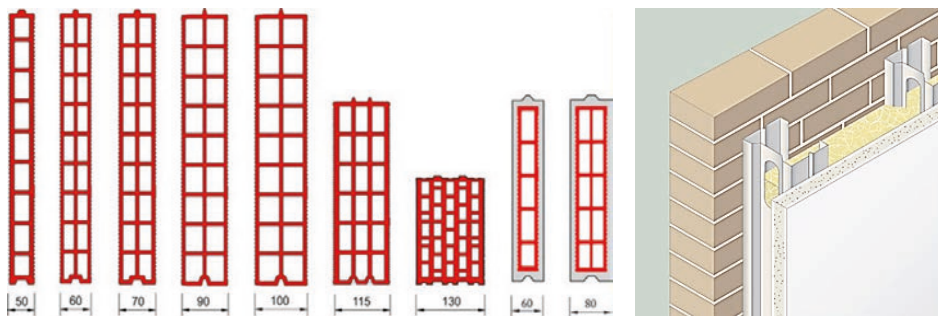


- Baixa densitat: entre 10 i 25 kg/m³
- Conductivitat tèrmica reduïda: entre 0,06 i 0,03 W/m °C
- Imputrescible i inatacable per bacteris, fongs o paràsits
- S'hi s'instal·la correctament, el poliestirè expandit no suposa cap risc d'incendi ni destaca per un increment significatiu de la densitat dels fums ni per la seva toxicitat.

Les dades numèriques indicades són una referència, però poden variar segons els fabricants.

Val a dir que, a causa d'una normativa molt permissiva, la NBE-CT-79, i del desconeixement general de la població i dels propis tècnics sobre la importància econòmica d'aïllar correctament els edificis, no es va valorar seriosament la incidència econòmica de construir de forma sostenible fins al CTE de 2006 i la reforma l'any 2013 del DB-HE, en què els gruixos dels aïllaments tèrmics s'han triplicat respecte de les antigues NBE-CT.

Una altra evolució interessant ha estat la de l'envà interior. La indústria del totxo n'ha anat oferint formats cada vegada més grans, per tal de reduir temps i costos (gràfic inferior esquerra). Paral·lelament, s'han desenvolupat envans de peces de guix com a alternativa a la ceràmica i, fins i tot, s'han fabricat peces ceràmiques de gran format preenguixades (gràfic inferior, dues peces de la dreta).



En tots els casos, el totxo associat amb el guix limita les seves possibilitats de reciclatge, a causa de la dificultat que suposa destriar els dos materials i de l'efecte expansiu del guix en presència d'aigua. D'altra banda, l'enguixat és un procés artesanal poc compatible amb les tècniques de construcció més avançades.

La solució final que ha desbancat les precedents va arribar als anys noranta del segle passat, amb l'anomenada "via seca", representada per les plaques de cartó guix fixades amb cargols sobre una subestructura de perfils de xapa galvanitzada (gràfic superior dret). Les reformes i els processos de desconstrucció són més senzills i el reciclatge és més fàcil amb aquest nou material.

Finalment, cal destacar la substitució, en la formació d'obertures a la façana, dels marcs tradicionals per premarcs de fusta o metàl·lics, segons el tipus de fusteria que es vulgui col·locar. Els premarcs permeten, entre d'altres avantat-



ges, instal·lar les fusteries completament muntades de fàbrica, amb les fulles i els vidres inclosos. Aquestes fusteries són menys permeables a l'aire i, normativament, estan equipades amb vidres amb cambra.



Les solucions d'aïllament exterior i de façana ventilada, per la seva continuïtat, resolen, d'entrada, els problemes derivats dels ponts tèrmics. Cal tenir cura del tractament constructiu de les obertures a fi de garantir l'estanquitat i l'aïllament tèrmic dels vidres, i evitar els eventuais ponts tèrmics que poden afectar determinats tipus de fusteries.

L'evolució tecnològica de les parets multicapa. Les façanes ventilades. Les façanes ventilades són també solucions constructives multicapa. Constitueixen una evolució lògica de les parets multicapa originals, pel que fa a les seves prestacions.

Estan dissenyades científicament per donar resposta als requisits derivats de la necessitat de construir edificis amb una demanda energètica controlada i compatible amb els principis de reducció d'impacte ambiental i sostenibilitat.

La seva composició genèrica d'exterior a interior és: (gràfics de la pàgina següent).

- Pell exterior prima, d'1 a 5 cm de gruix, tecnològicament avançada, amb junts oberts, realitzada amb plaques de format variable, de ceràmica industrial, gres, GRC, compòsits de plàstic i metall (tipus ALUCOBOND®), Trespa® (producte basat en resines fenòliques) o qualsevol altre producte amb unes característiques mecàniques, de durabilitat, estètiques i funcionals apropiades als requisits de la pell de l'edifici. Aquests acabats poden requerir una zona de sòcol amb major resistència mecànica.
- Subestructura de fixació amb elements d'ajust, entre l'obra grossa i la pell. La subestructura, a més de la seva funció de suport, ha de permetre passar de toleràncies de l'ordre dels centímetres a toleràncies de l'ordre del mil·límetre o inferiors. Cal que la subestructura disposi de mecanismes d'ajust segons els eixos (x, y, z), lateralment, en profunditat i en altura. El replanteig i la verificació de la posició dels elements es realitzen amb aparells amb làser, per garantir-ne l'exactitud. La subestructura es fixa mecànicament al tancament d'obra (paret de 15 cm de totxo perforat o qualsevol altra alternativa), que es construeix de sostre a sostre.
- Cambra d'aire de 3 a 5 cm de gruix. La seva funció és mantenir sec el material d'aïllament tèrmic i evitar la propagació de les humitats a l'interior de l'edifici.



- Aïllament tèrmic. El tipus de material previst al projecte, amb el seu gruix corresponent, es col·loca de forma contínua entre els suports de la subestructura. Aquests volen prou per absorbir el gruix de les plaques, la cambra d'aire i l'aïllament tèrmic.
- Tancament d'obra de tipus convencional o alternatiu, com mostren, respectivament, els gràfics inferiors. S'ha fet referència als tancaments en tractar de la solució 3 dels ponts tèrmics del front del forjat.
- Pell d'acabat interior realitzada amb "via seca", per mitjà de plaques de cartó guix fixades mecànicament a perfils d'acer galvanitzat.



Anàlisi constructiva de les façanes ventilades. A continuació, s'exposen els aspectes positius i negatius de les façanes ventilades.

Aspectes positius:

- L'aïllament continu per la cara exterior del parament, que garanteix la correcció automàtica dels ponts tèrmics dels fronts dels forjats i de les caixes de les persianes.
- La protecció excel·lent contra la humitat gràcies a la presència de la cambra ventilada.
- El bon acabat estètic que li dóna un toc de modernitat. Gran varietat de materials aptes per resoldre la pell exterior, amb diversos formats, textures i colors.
- L'absència de problemes de compatibilitat entre els elements portants i els portats ni de caràcter higrotèrmic, pel fet que els junts de les plaques que conformen el parament són oberts.
- La no-limitació del gruix de l'aïllament tèrmic. Es poden complir els requisits del CTE amb escreix, sempre que els suports i el tancament al qual van ancorats siguin suficientment resistents.

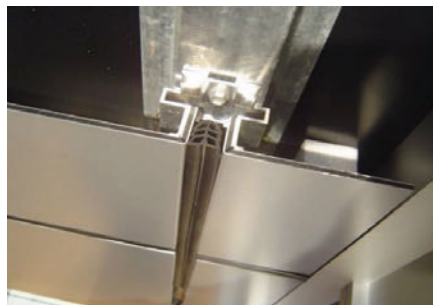


- La reducció substantiva dels consums energètics per subministrar condicions de confort a l'interior de l'edifici. Aquesta reducció permet amortitzar els costos de construcció amb un període d'entre cinc i deu anys.

Aspectes negatius:

- El preu. Es tracta d'una solució més complexa i cara que les basades en les parets multicapa convencionals. Pot aplicar-se en funció de la seva amortització, en períodes de temps raonables.
- La necessitat d'una protecció perimetral específica per a les obertures de la façana per mitjà d'escopidors, per tal d'evitar que hi penetri l'aigua de pluja. Cal recordar que, encara que protegida, la cambra d'aire resta oberta.
- La dificultat per substituir les plaques de la pell que s'han trencat accidentalment o per un acte vandàlic. Algunes solucions permeten fer aquests canvis més fàcilment que d'altres.
- El gruix més gran dels paraments respecte de les solucions convencionals, que es tradueix en una reducció de la ràtio entre les superfícies útils i les construïdes que cal considerar en els costos de construcció.

La fotografia inferior esquerra mostra algunes de les possibilitats de color que pot oferir el Trespà®; la de la dreta, un detall de subjecció i un junt estanc d'una peça d'ALUCOBOND®.



De les consideracions anteriors, es conclou que les façanes ventilades constitueixen una alternativa de present amb capacitat per evolucionar en el futur cap a solucions encara més lleugeres i eficients, especialment pel que fa a les obertures, que constitueixen la baula feble de la cadena.

Els murs cortina

Els murs cortina són una solució constructiva "lleugera" per resoldre algunes façanes, preferentment d'edificis d'oficines. Es desenvolupen a final dels anys quaranta del segle passat i han continuat evolucionant fins avui per tal d'adaptar-se als requisits energètics actuals.



Els murs cortina originals, dissenyats en èpoques de bonança energètica i per a un mercat relativament reduït, varen portar el concepte “pell” fins a les darreres conseqüències. La reducció del gruix del tancament millora la ràtio superfície útil/superfície construïda.

Característiques i elements dels murs cortina:

- El mur cortina és un element continu al llarg de totes les plantes en què s’ubica.
- La continuïtat estructural del tancament, la dóna “la reixa”, el conjunt de perfils d’acer fixats al front dels diferents forjats. La reixa ha de disposar de capacitat estructural suficient per suportar els esforços gravitatoris, de vent i sísmics.
- Els elements que conformen la reixa han de quedar perfectament anivellats per garantir que el conjunt de la façana es manté dins d’un mateix pla. A aquest efecte, el sistema de suport ha de complir amb la regla de les tres llibertats, a la qual ja s’ha fet referència.
- Sobre la reixa, es fixen perfils d’alumini extrudit que contenen tant les parts opaques com les transparents, fixes i practicables.
- El vidre adquireix un paper preponderant en els murs cortina. Evoluciona en el temps en prestacions mecàniques, tèrmiques i acústiques. Es fan vidres tintats, reflectants, amb cambra, multicambra, fotosensibles, etc.

Anàlisi constructiva dels murs cortina. A continuació, s’exposen els aspectes positius, i els dèficits i problemes dels primers murs cortina.

Aspectes positius dels murs cortina:

- Racionalitzen la construcció gràcies a la seva modularitat i a la seva construcció al taller. A l’obra, tan sols se’n fa el muntatge.
- Actualment, es disposa d’una extensa experiència constructiva, raó per la qual es tracta de solucions plenament fiables.
- És un sistema en evolució constant pel que fa als requisits, les prestacions i els materials (solucions constructives), els tipus de vidres, els perfils, els suports i els materials dels junts i del segellament.
- Projecten una imatge de racionalitat i de modernitat als edificis que els incorporen.
- Els materials bàsics del seu acabat –el vidre, l’alumini anoditzat i l’acer inoxidable– són durables i inalterables.
- Són fàcils de manteniment. Els edificis alts necessiten disposar d’uns equips de neteja i de manteniment especialitzats, anomenats “góndoles”, que en garanteixen la conservació al llarg del temps.



Els dèficits i problemes dels primers murs cortina. La idea de construir edificis en què el vidre sigui l'element predominant de la façana es deu a un projecte no construït de l'arquitecte Mies van der Rohe, datat l'any 1921 (fotografia inferior esquerra). El seu primer plantejament és més conceptual i estètic que funcional, atès que els principis físics responsables de la previsió de les condicions de caràcter higrorèrmic a l'interior dels edificis, amb vista a garantir-ne el confort, són desconeguts pels arquitectes de l'època.

Així doncs, es pot afirmar que els primers murs cortina es van avançar al seu temps i van generar un bon cúmul de problemes: ponts tèrmics, condensacions, manca d'estanquitat, efecte hivernacle... Actualment, una bona part d'aquests problemes s'ha solucionat, la qual cosa ha fet avançar notablement la tècnica constructiva.

Malgrat tots els dèficits esmentats, la imatge dels edificis proveïts amb un mur cortina era tan atractiva que, als anys seixanta, en va quedar consolidada la primera generació, representada per edificis com el Seagram, construït a Nova York (fotografia central inferior) pel propi Mies entre 1954 i 1958, o el PanAm, actualment MetLife, obert al públic l'any 1963.



Aquesta primera generació de murs cortina comportava un gran consum energètic en forma de calefacció, aire condicionat i cortines d'aire sobre els vidres, per tal d'evitar les condensacions i mantenir un ambient interior amb unes condicions de confort acceptables.

Les evolucions posteriors dels murs cortina. Entre els anys seixanta i vuitanta del segle passat, la indústria del vidre va experimentar un gran avenç i va produir vidres polits i trempats amb gruixos superiors als 10 mm. Es van millorar l'aïllament acústic, la resistència mecànica i la seguretat. En cas de trencament, el vidre trempat es fragmentava en trossos petits que reduïen substancialment els danys sobre les persones.

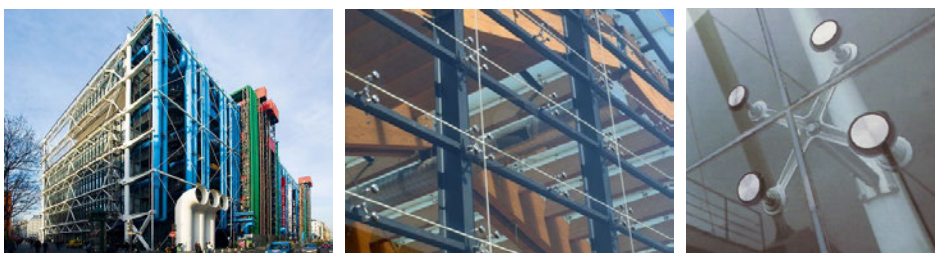
Per tal de reduir els consums energètics, es varen crear vidres acolorits i reflectants i, posteriorment, amb cambra d'aire.

També es posaren al mercat, per raons de seguretat, vidres laminats de dues capes o més amb una làmina interposada de butiral.



La inauguració, l'any 1974, del Centre Georges Pompidou a París, obra dels arquitectes Renzo Piano i Richard Rogers (fotografia inferior esquerra), va introduir un nou concepte de mur cortina i de concepció global de les façanes, posteriorment utilitzat amb molt d'èxit, basat en:

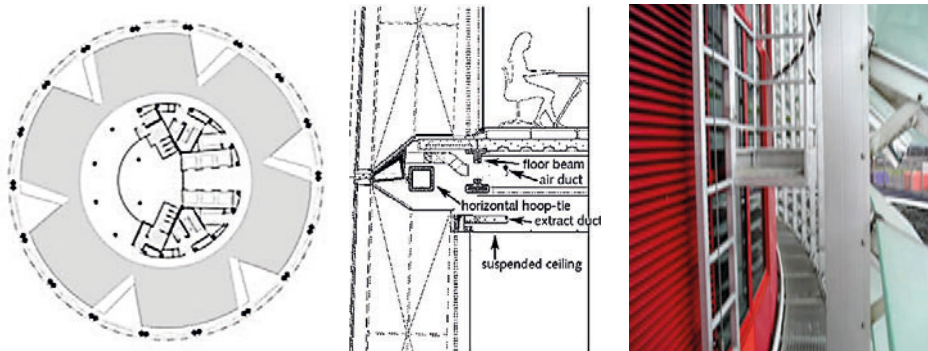
- La subjecció dels panells de vidre de forma puntual per mitjà de grapes d'acer inoxidable (fotografies central i dreta)
- El segellament entre els vidres per mitjà de silicona estructural (fotografies inferiors central i dreta).
- La incorporació de les instal·lacions vistes com un element més del disseny.



Els murs cortina al segle XXI. Els murs cortina al segle XXI com, en general, tota la construcció, es mouen dins d'uns paràmetres definits per:

- La crisi crònica del petroli
- La presa de consciència social i política per reduir el consum de combustibles fòssils i controlar les emissions de CO₂
- La “necessitat” de construir edificis icònics com a reflex de la influència i de la capacitat econòmica de determinats poders fàctics, en el context mundial. Com que no es preveu cap canvi significatiu en els equilibris de poder, es pot afirmar que es continuaran construint edificis tecnològicament avançats i que un dels seus vectors d'identitat seran els murs cortina de darrera generació.
- L'exigència de realitzar “arquitectures políticament correctes”, en les quals ha d'aparèixer l'etiqueta de la sostenibilitat, encara que sigui de forma forçada. Aquesta situació condueix directament a un carreró sense sortida. És el cas dels murs cortina de doble capa, proveïts d'una cambra interior practicable per al seu manteniment.

Els gràfics de la pàgina següent esquerra i central corresponen al Gherkin de Londres. El de l'esquerra en mostra la planta, amb els espais destinats al tancament de la façana, als atris i a les zones comunes. En gris es senyalen les zones d'oficina. El gràfic central permet apreciar que el tancament de la façana ocupa 1,80 m d'amplada i que, per fer-ne el manteniment, cal netejar les quatre cares. La fotografia de la dreta mostra el pas de servei de la Torre Agbar. El tancament de la façana ocupa un gruix d'1,35 m.



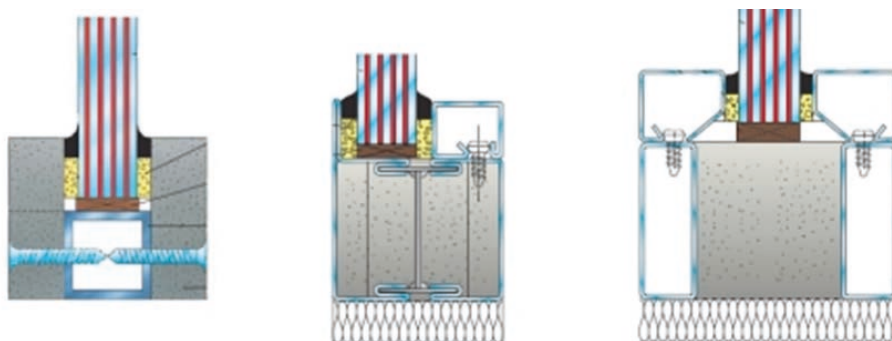
En altres casos, els plantejaments que s'empren en el disseny obren nous camins a la recerca (millora dels vidres i/o cerca de materials alternatius).

Aspectes constructius que cal tenir en compte a l'hora de dissenyar els murs cortina del segle XXI. Les "caixes de vidre", pel seu elevat consum energètic, són incompatibles amb els requisits actuals. Cal cercar solucions mixtes que combinin les zones transparents amb les opaques, encara que l'acabat exterior es resolgui totalment amb làmines de vidre.

Cada zona geogràfica requereix unes solucions específiques. La consideració del clima és determinant per dissenyar correctament les façanes dels edificis. L'aplicació sistemàtica de solucions genèriques arreu del món portarà al fracàs en la majoria de les ocasions. L'anomenat "estil internacional", propi dels anys cinquanta i seixanta del segle passat, basat en els principis esmentats, està completament superat pels esdeveniments tecnològics, socials i econòmics.

El fet de disposar de capacitat tecnològica per realitzar geometries complexes i, fins i tot, aleatòries no s'hauria d'anteposar al compromís de sobrietat i de racionalitat propi d'una concepció i una construcció correctes de l'arquitectura.

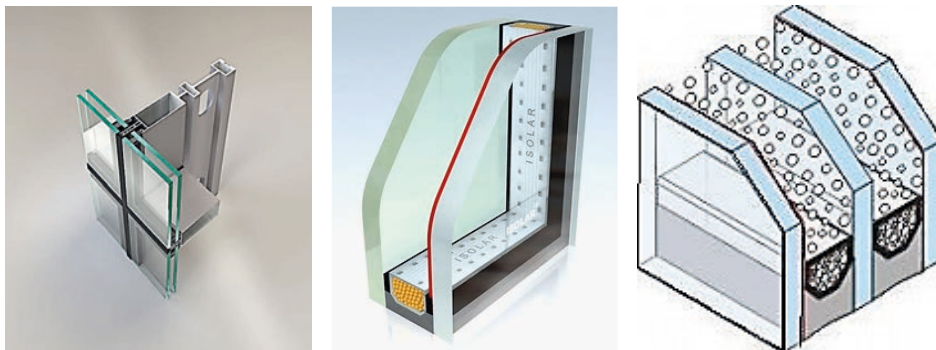
La indústria del vidre ha aportat i està aportant solucions per millorar l'eficiència tèrmica, contra el foc, de seguretat i acústica dels vidres, i aplicar-les als murs cortina i a d'altres tancaments. A tall d'exemple, el gràfic següent mostra vidres multicapa tallafocs. Les capes incorporades són gels que es tornen intumescents en contacte amb el foc i es converteixen en aïllants, cosa que redueix substantivament la transmissió de calor entre les dues cares del vidre.





Actualment, existeixen vidres d'altres prestacions amb dos i, fins i tot, tres cambres plenes amb gasos inerts. Tanmateix, les zones transparents continuen essent la baula feble de la cadena.

La fotografia inferior esquerra correspon a un vidre convencional amb cambra d'aire. El seu grau d'aïllament tèrmic és de $2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. La seva eficiència és pràcticament el doble de la d'un vidre senzill. El gràfic central mostra un vidre de baixa emissivitat amb la cambra plena de gas argó. La transmitància tèrmica baixa fins a $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. El de l'esquerra correspon a un vidre amb doble cambra plena d'argó. La seva transmitància tèrmica és de $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$.



L'increment del nombre de capes i del gruix de les làmines que componen els envidraments fa que els murs cortina moderns hagin deixat de ser una "solució lleugera", amb la consegüent sobrecàrrega estructural sobre el front dels forjats.

13.3.2. Els patis

Els patis són espais buits, oberts al contacte directe amb la intempèrie, que es projecten a l'interior dels edificis per tal de satisfer necessitats d'il·luminació natural i de ventilació. Com que connecten en vertical les diferents plantes, també són útils per incorporar-hi tota mena d'instal·lacions i serveis tècnics dels edificis, muntants d'instal·lacions d'aigua i de gas, baixants, ventilacions forçades i conductes de refrigerant d'aire condicionat, entre d'altres.

Els requisits i les prestacions de caràcter higrotèrmic dels seus paraments són els mateixos que els de les façanes exteriors, si bé no reben l'efecte directe de la pluja ni del vent. Es tracta de façanes "protegides", especialment les plantes inferiors.





La fotografia de la pàgina anterior esquerra mostra la visió d'un pati de dalt a baix. La de la dreta, presa de baix a dalt, permet apreciar la presència d'una claraboia.

Excepte en casos excepcionals, que es donen en edificis de caràcter patrimonial, als edificis residencials més comuns la seva situació protegida i la poca incidència estètica en la imatge formal del conjunt propicia solucions formals més aviat pobres. La tendència més comuna és pintar els paraments de blanc per tal d'afavorir la lluminositat a l'interior.

Una solució interessant per millorar la conservació dels paraments dels patis és cobrir-los amb una claraboia. Per tal de garantir-hi la ventilació, la claraboia s'ha de separar del coronament del pati, de manera que la superfície en el perímetre de ventilació sigui superior a la del pati almenys en un 25 %. Les claraboies eviten que els paraments es mullin i n'allarguen el temps de conservació.

13.3.3. Les claraboies

Les claraboies són elements constructius transparents o translúcids que, col·locats sobre els patis o altres obertures de la coberta, hi impedeixen el pas de l'aigua, i en faciliten la il·luminació i la ventilació.

L'associació de plaques de vidre muntades sobre perfils de ferro té l'origen a mitjan segle XIX. L'exemple més característic és el Crystal Palace, construït per Joseph Paxton (1803-1865) amb motiu de l'Exposició Universal de 1852.

La combinació dels dos materials, vidre i ferro, i la seva lleugeresa respecte a les solucions constructives tradicionals van fer que s'utilitzessin durant un temps en aplicacions molt diverses d'avantguarda, per resoldre grans llums: hivernacles, galeries comercials, mercats, estacions de ferrocarril...

Els dèficits del sistema –la manca d'aïllament tèrmic i acústic, i l'elevada sensibilitat enfront del foc– posen fi a la seva hegemonia cap als anys trenta del segle XX, quan el formigó armat en forma de closques i estructures nervades pren el protagonisme per acomplir funcions similars.

Malgrat tot, la combinació de perfils de ferro i acer amb vidre s'ha adaptat als nous temps i s'ha continuat aplicant per resoldre elements transparents o translúcids de petit format, com marquesines i claraboies de pati.



La fotografia inferior esquerra mostra una claraboia a dues aigües, resolta amb plaques de policarbonat. La central permet apreciar l'adaptabilitat del policar-



bonat a les formes corbes. I la claraboia de la dreta cobreix un àmbit de gran format, proveït amb aire condicionat. Generar sota la claraboia una cambra d'aire ventilable a voluntat garantiria més estalvi energètic.

Actualment, les solucions constructives de claraboies per cobrir patis disposen d'un repertori variat de vidres –armats, laminats, gravats, acolorits i reflectants– i de perfils estructurals i de suport –en acer, alumini o acer inoxidable.

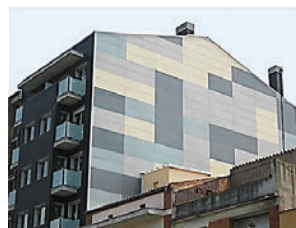
13.3.4. Les parets mitgeres

Les parets mitgeres constitueixen la separació física entre finques veïnes. Actualment, cada propietari construeix la seva. Antigament, el propietari que construïa en primer lloc feia els fonaments i una paret comuna fins a la primera planta, com s'ha indicat al capítol 9.

D'acord amb la seva funció divisòria, les parets mitgeres són cegues. En estar adossades a l'edifici veí, no es plantegen, entre elles, problemes de transmissió tèrmica, ja que els edificis solen tenir uns usos similars i, per tant, també són similars les temperatures de les estances contigües dels dos edificis. Actualment, es resolen amb totxos foradats o perforats de format mètric o català, els quals, per raó de la seva massa, ofereixen un aïllament acústic suficient.

Els problemes constructius de tipus higròtermic es plantegen quan una paret mitgera queda descoberta, ja sigui per l'enderroc de l'edifici veí o perquè es tracta d'una mitgera de nova construcció de més altura que la de l'edifici veí.

La solució tradicional consisteix a realitzar, sobre la paret desprotegida, una cambra d'aire ventilada, protegida per un envà d'obra (fotografia inferior esquerra). L'elevada transmissió tèrmica d'aquesta solució i la manca d'enllaços en les mitgeres modernes obliguen avui a cercar alternatives més eficients.



Si es tracta d'una situació provisional provocada per l'enderroc de l'edifici existent per construir-ne un de nou immediatament, s'opta per un projectat de poliuretà, per la seva adherència al suport i la bona resposta tèrmica i en cas de pluja (fotografia superior central).

Per a solucions permanents, es cerquen acabats de tipus "façana" (fotografia superior dreta), tant per les seves prestacions higròtermiques com per la qualitat dels materials emprats en els acabats. Les parets mitgeres constitueixen, en alguns casos, espais per a l'expressió artística (fotografia superior central).



13.3.5. Els sostres desprotegits

Es generen, habitualment, a les plantes baixes lliures. També poden aparèixer a més altura, en edificis singulars, com és el cas de la Grande Arche de la Défense de París (fotografia inferior esquerra), a l'edifici d'oficines situat al número 123 de la Diagonal de Barcelona (fotografia central) o l'edifici d'oficines del Citigroup Center a Nova York (dreta).



En aquestes situacions, el sostre, per bé que no rep els efectes directes de la pluja ni dels raigs solars, es troba en contacte directe amb la temperatura ambient i, per tant, pot formar un pont tèrmic que cal corregir, tant per prevenir fuites tèrmiques com per evitar condensacions en els paviments interiors.

Les solucions tècnicament més apropiades per als sostres desprotegits són aquelles que donen continuïtat a l'aïllament de la façana per l'exterior, ja sigui un acabat senzill de tipus mallat i monocapa o un de més qualitat, de façana ventilada.

Per la llei de la massa, un sostre convencional proporciona suficient aïllament acústic enfront dels sorolls ambientals. De tota manera, l'aïllament acústic és un element que cal prendre en consideració en els casos dels sostres desprotegits i, si calgués, se n'hauria d'incrementar la massa amb una capa de compressió de més gruix.

13.3.6. Les zones sota rasant en contacte directe amb el terreny

Les zones de la pell dels edificis en contacte directe amb el terreny són potencialment conflictives, tant per la presència eventual d'aigua com pel fet que el seu accés per la cara exterior és difícil i costós.

La fotografia esquerra de la pàgina següent mostra una fase de l'execució d'un vas amb murs pantalla perimetrals. S'hi poden apreciar els ancoratges provisionals i les camises al descobert dels pous Siemens, un cop realitzada l'excavació. Totes elles són mesures de seguretat imprescindibles per desenvolupar els treballs amb garantia de qualitat i de seguretat.

La fotografia central mostra la protecció d'una làmina de tipus DELTA®-DRAIN amb un geotèxtil abans de reomplir el talús resultant de l'excavació. La fotografia de la dreta il·lustra un detall de la col·locació d'una làmina perfilada de neoprè per generar un junt de dilatació a la pantalla d'un mur de contenció perimetral.



Cal extremar la prudència a les zones de l'edifici que estan en contacte amb el terreny per tal de garantir-ne l'estanquitat a la primera. A continuació, es detallen una sèrie de recursos i aspectes de caràcter constructiu que convé considerar en aquestes situacions:

- Dimensionar correctament les lloses i les soleres, per fer front a subpressions eventuais o contínues, que prudentment s'han d'estimar a l'alça.
- Formigonar correctament, per tongades, vibrant la massa de formigó per tal de compactar-la.
- En el cas dels murs pantalla, mantenir el tub *tremie* entre 3 i 4 m per sota del nivell del formigó, en el procés de batatge, en funció de les condicions del formigonatge, per tal d'evitar la contaminació del formigó.
- Afegir productes hidrofugants al formigó.
- Al edificis d'un sol soterrani, realitzar preferentment els murs encofrats a dues cares i impermeabilitzar la cara en contacte amb el terreny amb pintures bituminoses. Davant la presència ocasional d'aigua, una bona mesura és col·locar una làmina drenant, protegida amb un geotèxtil i un drenatge que evacui les aigües.
- En cas de realitzar murs encofrats a una sola cara, protegir el talús amb una làmina plàstica abans de formigonar. Així s'evita que, en abocar-hi el formigó, s'arrossequin terres que puguin causar discontinuïtats en el si del formigó.
- A les pantalles dels murs de contenció, protegir els junts de dilatació amb peces especials de butil i reomplir els junts superficials amb elastòmers expansius.
- Realitzar mitges canyes amb morter hidròfug en els encontres entre la solera i la pantalla.

13.4 Fusteries per a la pell dels edificis. La fusteria exterior.

Introducció

En general, la fusteria de la pell d'un edifici constitueix la part, majoritàriament transparent, que cobreix els espais dels paraments de la façana reservats a l'accés, a la il·luminació natural i a la ventilació de l'edifici. En les nostres latituds, habitualment representen prop del 30 % de la superfície total de les façanes. En



canvi, la fusteria interior és majoritàriament opaca, perquè dona resposta preferent a la privacitat dels espais.

Els requisits bàsics de la fusteria exterior, a més de les funcions enunciades, són:

- L'aïllament tèrmic i acústic, d'acord amb les especificacions de projecte.
- La durabilitat, la resistència mecànica i la protecció enfront dels agents atmosfèrics.
- L'estanquitat a l'aigua. Amb aquesta finalitat, els marcs, els muntants i els travessers disposen d'una sèrie d'elements constructius, com galzes, escopidors, cambres de depressió, rivets, segellaments i desguassos, que s'encarreguen de frenar i/o impedir el pas de l'aigua a l'interior de l'edifici.
- Una certa permeabilitat a l'aire, per facilitar la ventilació a l'edifici en situació de finestres tancades. Actualment, com que les finestres es construeixen molt estanques per raons tèrmiques i acústiques, el problema es resol projectant sistemes de ventilació aliens a les finestres.
- La practicabilitat, és a dir, la possibilitat d'obrir i tancar a voluntat les fulles d'una obertura determinada per fer operacions de ventilació ràpida, de neteja dels vidres o de manteniment dels seus elements de suport. A aquest efecte, es disposa d'una gran varietat de ferratges (frontisses, manetes, falleves...) que permeten molt diversos sistemes d'obertura per a les fulles –batents, corredisses, oscil·lobatents, de guillotina....
- La possibilitat d'enfosquiment i de protecció mecànica enfront de la intrusió, amb la incorporació de reixes o persianes enrotllables amb lames de plàstic, d'alumini o d'acer.

A la fusteria exterior, el vidre, amb les seves diverses opcions possibles, resulta determinant en el comportament global, higrotèrmic i acústic.

La definició correcta d'una partida de fusteria en l'estat d'amidaments requereix fer referència a:

- El material de base. Si es tracta de fusta, cal indicar el tipus de fusta i si l'acabat serà pintat o envernissat. Si es tracta d'alumini, acer o acer inoxidable, s'ha d'indicar el tipus d'acabat –per exemple, anoditzat, lacat, polit o matisat– i si disposen de trencament de pont tèrmic. Si es tracta de PVC, s'ha d'esmentar si disposa d'ànima d'acer o no.

El fet que el mercat ofereixi opcions tan diverses indica que la fusteria elaborada amb cadascun d'aquests materials presenta un conjunt d'arguments prou vàlid per avalar la seva elecció. La prescripció d'un tipus determinat de fusteria correspon al projectista, després de ponderar una sèrie de premisses, com ara el tipus d'edifici, la situació geogràfica, el nivell de qualitat general, l'entorn...

- Les seccions dels marcs, els muntants i els travessers.



- El tipus i el gruix dels vidres que s'hi han de col·locar.
- La forma en què aquests s'han de fixar als galzes corresponents.

La paraula *fusteria* es fa servir amb independència del material. Així, es fa referència a la fusteria d'alumini, d'acer inoxidable o de PVC per referir-se a un determinat tancament de façana.

El projecte executiu ha de contenir un apartat amb informació gràfica sobre la fusteria que inclogui:

- Plànols de detall amb els perfils previstos per a cada tipus de fusteria.
- Plànols generals, habitualment de la planta, amb un codi per a cada model de fusteria.
- La “planella de fusteria”, on es dibuixen els esquemes i es detallen les mesures de les diferents obertures i se n'indica el nombre de fulles, les que són fixes i, en el cas de les practicables, el sistema previst d'obertura i el codi que figura al plànol de la planta per a cadascun dels models.

A continuació, es fa una anàlisi comparativa dels avantatges i els inconvenients dels diferents materials de base que constitueixen la fusteria exterior:

- Fusta
- Perfils d'acer
- Alumini extrudit, anoditzat o lacat, amb trencament del pont tèrmic o sense
- PVC
- Acer inoxidable

13.4.1. La fusta

La fusta associada amb el vidre ha estat el material per excel·lència per a la realització dels tancaments exteriors. Actualment, encara conserva una bona quota de mercat. La realització de fusteries prefabricades de qualitat col·locades sobre premarcs ha donat un nou impuls al sector.

Avantatges:

- És un material renovable, de baix impacte ambiental.
- És durable, si es manté correctament.
- Hi ha diversos tipus de fustes disponibles: frondoses, resinoses, tropicals.
- N'hi ha una extensa gamma de qualitats: artesanes, industrials.
- Els seus acabats poden ser amb esmalts, vernissos i lasurs.
- No ocasiona problemes de ponts tèrmics per la seva baixa transmitància.

Inconvenients:

- Necessita un manteniment periòdic.
- Presenta poca estanquitat a l'aire si no es dota de rivets especials, que només ofereixen les fusteries industrialitzades.



- És sensible als canvis higrotèrmics.

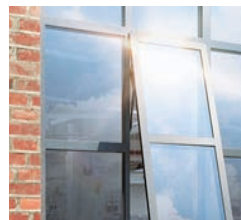
La fotografia inferior esquerra mostra una secció de finestra convencional, amb els galzes per conferir estanquitat i la canal per evacuar eventuais entrades d'aigua connectada a l'exterior. La fotografia central correspon a una fusteria de batent senzilla, mentre que la de la dreta és de més qualitat: incorpora rivets i un mecanisme oscil·lobatent.



13.4.2. Els perfils d'acer

Si bé durant els anys cinquanta i seixanta es varen col·locar en edificis docents, industrials i terciaris, perquè el mercat de l'època no oferia cap alternativa més eficient, actualment estan en desús, per les seves poques prestacions, excepte per usos industrials i de seguretat.

La fotografia inferior esquerra mostra una sèrie de perfils d'acer aptes per realitzar fusteries. La fotografia central il·lustra l'aplicació d'aquest tipus de fusteria com a protecció contra la intrusió i la de la dreta, amb funcions industrials.



Inconvenients:

- No té prou estanquitat a l'aire.
- Requereix la renovació periòdica de la pintura.
- Té problemes d'oxidació puntual per contacte directe metall-metall.
- Presenta ponts tèrmics a tot el perímetre, deguts a l'elevada transmitància tèrmica de l'acer.



- El seu sistema de fixació de vidres és deficient: amb massilla i/o amb jonquets. En condensar-se l'aigua per l'interior i quedar entre els junts, propicia l'oxidació (en el cas dels jonquets metàl·lics) o la deformació i el podriment (en el cas dels jonquets de fusta).

13.4.3. Els perfils d'alumini

L'alumini, pel fet de ser lleuger, resistent als agents atmosfèrics i extrudible per formar perfils complexos, s'ha convertit en un dels materials més emprats per realitzar tant fusteries de tipus domèstic com grans tancaments de façana per a edificis terciaris de primer nivell.

Avantatges:

- La possibilitat d'aconseguir tancaments d'altres prestacions acústiques tèrmiques, i estanquitat a l'aire.
- La diversitat d'acabats, anoditzats o lacats, i de diversos colors.
- La poca necessitat de manteniment. Tanmateix, els ambients marins afecten especialment els acabats lacats.
- La bona conservació al llarg del temps.
- La possibilitat de reciclar els perfils al final de la seva vida útil.
- L'existència al mercat de perfils amb una gran varietat de prestacions. Cal triar el material de base de les fusteries analitzant les relacions que es deriven del binomi qualitat-preu.

La fotografia de la l'esquerra mostra un perfil d'alumini extrudit de seccions molt minses, sense trencament del pont tèrmic. La fotografia de la dreta correspon a una fusteria de més qualitat, més robusta i amb trencament del pont tèrmic.





Inconvenients:

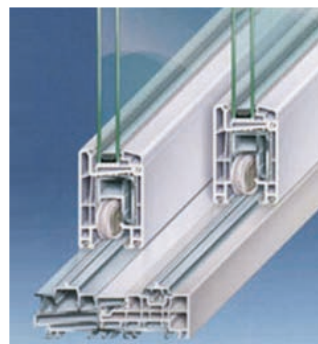
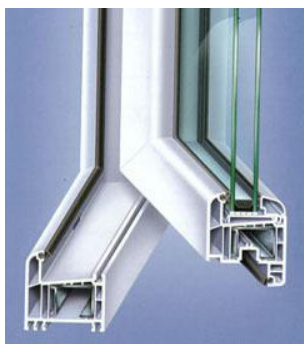
- La generació de ponts tèrmics per l'elevada conductibilitat tèrmica de l'alumini. Per evitar-los, cal emprar perfils especials, proveïts d'una ànima de baixa conductivitat.
- L'impacte ambiental que comporta l'obtenció de l'alumini i la fabricació posterior dels perfils, que requereix un gran consum energètic.
- El cost més elevat, en general, que les fusteries tradicionals i les de PVC.

13.4.4. Els perfils de PVC

Els perfils de PVC se situen en una posició equidistant entre la fusteria tradicional i la d'alumini.

Avantatges:

- La durabilitat
- El baix mantenimentLa lleugeresaLes bones prestacions higròtiques
- La possibilitat de disposar de diversos acabats i colors, cal fugir, però, de les imitacions de la fusta. Les tres fotografies següents mostren tres models diferents de perfils de PVC per a fusteries. El de l'esquerra i el central són per a fulles batents, mentre que el de la dreta és per a fulla corredora. Tots tres disposen de galzes per a vidres amb cambra i reforç realitzat amb perfils d'acer.



Inconvenients:

- L'alt impacte ambiental. Els plàstics, en general, són productes derivats del petroli. A més, el PVC conté clor, un altre contaminant ambiental que, en cremar, s'emet a l'atmosfera i genera pluges àcides.
- La necessitat de perfils gruixuts per aconseguir rigidesa. Aquest fet vol dir menys superfície d'envidrament a igualtat de superfície de forat respecte de les altres solucions.



- L'envelliment quan està en contacte amb la intempèrie. Els perfils perden el seu acabat, es ressequen i esdevenen fràgils. La velocitat d'envelliment està en relació directa amb la qualitat dels PVC emprats en la seva fabricació.

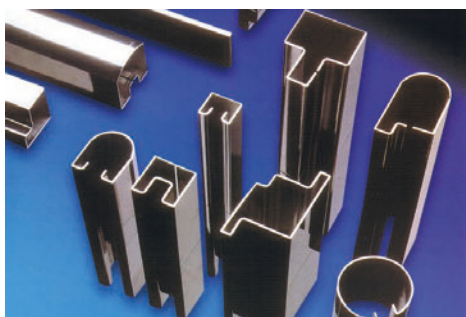
13.4.5. Els perfils d'acer inoxidable

Els perfils d'acer inoxidable ocupen, en funció de les característiques que es descriuen a continuació, un lloc molt limitat en la realització de les fusteries exteriors.

Avantatges:

- L'acer inoxidable és un material que, pel seu cost elevat, només s'utilitza en obres d'alta qualitat.
- L'alta resistència mecànica que el caracteritza permet disposar de perfils més prims que amb qualsevol altra alternativa.
- És resistent als agents atmosfèrics.
- Pràcticament no necessita manteniment.
- És reciclable.

La fotografia inferior esquerra conté diversos perfils d'acer inoxidable que ofereix el mercat per realitzar fusteries. La fotografia de la dreta mostra el cancell d'un edifici fet a mida.



Inconvenients:

- És un material difícil de treballar i de soldar.
- la seva gamma de perfils és molt més reduïda que les disponibles en alumini o en PVC.
- Se'n fan produccions de caràcter artesà per a obres específiques. En la majoria dels casos, es tracta de treballs semiartesans, més propis d'un taller de serralleria que de la producció seriada pròpia de la fusteria metàl·lica.



13.5 Algunes solucions constructives d'encontres entre la fusteria i el tancament de la façana

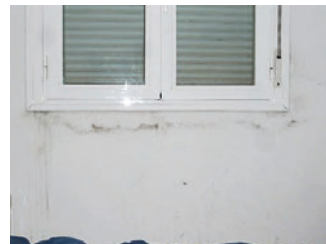
Els punts de conflicte dels encontres de la fusteria amb el tancament de la façana es concentren, fonamentalment, en els ampits i, més rarament, en els brancals.

Els ampits es poden resoldre amb una peça impermeable contínua, de pedra artificial (fotografia esquerra següent), de formigó convencional (fotografia central), de formigó de polímers o de xapa metàl·lica (fotografia de la dreta), o bé per addició de peces de gres o ceràmica (fotografia de sota, a l'esquerra). En tot cas, cal que:

- L'encontre amb la fusteria disposi d'un galze superior a 1 cm.
- El galze estigui correctament segellat.
- L'ampit faci un pendent d'entre el 2 i el 3 % cap a l'exterior.
- Voli com a mínim 3 cm i tingui goteró per evitar els regalims sobre la façana.



La fotografia inferior central correspon a un ampit interior que incorpora un radiador. La fotografia de la dreta permet apreciar taques d'humitat per filtració a la cara interior de la façana, causades per un segellament deficient de l'encontre de l'ampit amb la fusteria.



13.6 Les cobertes. Definició i conceptes generals

La coberta és la part superior dels edificis, horitzontal o inclinada. Ha de presentar unes solucions constructives específiques per fer front als requisits següents:

- Estètics. La imatge d'un edifici i la seva integració en un context determinat varien substancialment en funció del tipus de coberta que adopti i dels materials s'empren per materialitzar-la.



- Estructurals. Ha de tenir prou capacitat estructural per suportar el seu propi pes; els efectes de la intempèrie (vent, neu), derivats de la zona climàtica on estigui, i l'altitud, com també les sobrecàrregues d'ús previstes en el projecte i eventuais accions accidentals, com els sismes. Per aquest motiu, la solució constructiva d'una coberta ha d'incloure els elements estructurals i no es pot limitar únicament a la pell.
- D'estanquitat a l'aigua. Aquest requisit, bàsic per garantir l'habitabilitat, es pot complir amb diversos conceptes i materials.
- De confort higrotèrmic. S'han de garantir les condicions de confort higrotèrmic a l'interior de les estances en contacte directe amb la coberta. L'absència quasi absoluta d'obertures en els plans de les cobertes facilita obtenir valors de transmissió tèrmica acceptables i amb poca incidència dels ponts tèrmics.
- De durabilitat. Cal emprar materials durables i de baixa o nul·la sensibilitat a les gelades.
- De facilitat de manteniment. En algunes ocasions, cal preveure-hi accessos i elements de seguretat per assegurar-se que està en les condicions degudes.

13.7 Tipologies de cobertes

La tècnica constructiva ha desenvolupat un repertori molt ampli de cobertes, de manera que la seva prescripció, a partir dels requisits específics d'un edifici determinat, no acostuma a ser una decisió complexa. A banda dels tipus específics, als quals es farà referència oportunament, avui disposem de dues grans famílies de cobertes:

- **Cobertes d'evacuació.** Es realitzen seguint la forma tradicional. Requereixen pendents més o menys acusats, entre el 5 % d'un terrat a la catalana i el 120 % (més de 60°) propi de les cobertes de pissarra, de zinc o de coure.

La seva definició es basa en els materials que les formen –,com les teules, de les quals n'hi ha un assortiment molt extens; els rajols, les pissarres o les xapes metàl·liques– i en la tècnica constructiva emprada per fixar aquests materials al suport –morter, grapes, claus o cargols.

- **Cobertes d'obturbació.** Les cobertes d'obturbació es basen en un concepte modern de coberta, derivat de la possibilitat de disposar, gràcies als avenços de la indústria química, d'una làmina contínua impermeable, que cobreix sense discontinuïtats tota la planta que es vol impermeabilitzar. La continuïtat de la làmina es materialitza sobre la coberta per soldadura o encolat de les bandes impermeables produïdes al taller que la cobreixen totalment.

Les bandes es presenten en rotlles fàcilment manipulables per una sola persona. En aquest cas, el pendent passa a ser un element secundari (en-



tre el 0 % i el 3 %), ja que, si eventualment s'acumula aigua en un punt, s'acaba evaporant sense penetrar en la làmina impermeable.

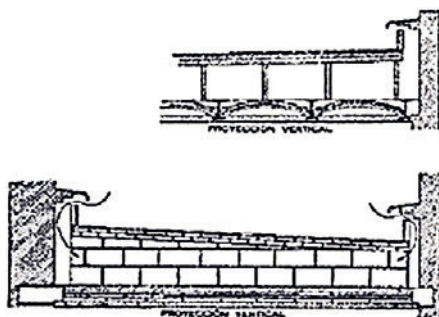
13.7.1. Algunes tipologies usals de cobertes d'evacuació

A continuació, es ressenyen els tipus de cobertes d'evacuació més comuns.

Terrats a la catalana

Actualment, són una solució constructiva totalment en desús, excepte en les obres de restauració d'edificis patrimonials. Per tractar-se d'una coberta plana, té un pendent elevat, de prop del 5 %, perquè no disposa de cap element impermeabilitzant.

Estan formats per un tauler flotant de tres gruixos de rajol: el primer, a trencajunts; el segon, en diagonal, disposat a trencajunts respecte del primer, i el tercer, col·locat a la mescla. Aquesta disposició garanteix la discontinuïtat dels junts entre gruixos i reforça la solidesa del tauler.



El tauler es recolza en envans conillers que descansen sobre bigues de fusta o de ferro. D'aquesta forma, es genera una cambra d'aire, ventilada per espiralls a les façanes i als patis, i a través de bimbells (gràfic superior esquerre). La fotografia de la dreta correspon al terrat de l'antiga Fàbrica Casaramona, inaugurada l'any 1912, obra de l'arquitecte Josep Puig i Cadafalch (1867-1956), que actualment és la seu del CaixaForum.

Teules en sec

Són una altra solució tradicional en desús. Amb pendents d'entre el 20 i el 30 %, les teules es col·loquen, amb un bon encavallament, sobre unes llates, recolzades sobre unes bigues de fusta "a llata per canal" (fotografia esquerra de la pàgina següent) o "a salt de garsa" (fotografia de la dreta). Com el seu nom indica, en la disposició "a llata per canal" les teules en canal resten encaixades entre dues llates consecutives, mentre que "a salt de garsa" les teules es recolzen directament pel seu propi pes sobre les llates.



Teules amorterades de tipus àrab i derivades

La col·locació de teules amorterades és una solució constructiva que encara s'aplica (fotografia esquerra següent). Els pendents dels faldons oscil·len entre el 25 i el 40 %. Si la coberta pròpiament dita es recolza sobre un forjat, els pendents es donen per mitjà d'envans conillers i entre ells es disposa una solera ceràmica sobre la qual s'amortera la teula. Si es disposa de bigues inclinades, entre elles es realitza directament la solera ceràmica i sobre ella es disposa la teula. La fotografia següent (dreta) mostra un sector de teulada realitzada amb teula alacantina.



Pissarres

La pissarra és un tipus de pedra metamòrfica que té la particularitat que és impermeable i molt poc sensible a les gelades, i que es pot perforar i tallar fàcilment en gruixos i formats diversos.





Les peces de pissarra per a cobertes es col·loquen encavallades, per tal de garantir l'evacuació i evitar retorns per capil·laritat (fotografia dreta de la pàgina anterior). Es fixen per mitjà de claus o grapes sobre taulers continus de fusta, recolzats en bigues de fusta (solucions tradicionals vigents), o sobre llates fixades a una solera ceràmica. Accepten fàcilment pendents superiors al 100 %, aspecte que facilita la utilització dels espais sota coberta. Necessiten incorporar peces auxiliars de zinc per materialitzar els encontres, els aiguavessos i els aiguafons (fotografia esquerra de la pàgina anterior).

Planxes de coure o de zinc

Les planxes de coure o de zinc es claven sobre taulers de fusta. Tenen una llarga durabilitat i qualitat en els acabats, especialment les de coure. El coure, per bé que s'oxida en contacte amb la intempèrie, ho fa lentament i genera una bonica pàtina de color verd que protegeix el metall situat en zones inferiors.

Els junts perpendiculars al pendent es resolen per encavallament en sentit contrari al d'evacuació de l'aigua. Els encontres entre xapes en el sentit del pendent es tracten amb la tècnica anomenada "de junt alçat". A ambdós extrems d'un cabiró, s'aixequen els extrems de les xapes que s'han d'unir i, a cada costat, es forma una aleta. Aquestes es cobreixen per una peça, que actua de tapajunts i les enllaça (fotografia inferior esquerra). Un cop doblegat el tapajunts conjuntament amb les aletes, queden garantides la continuïtat entre les xapes i la seva estanquitat.

Aquest tipus de coberta s'adapta a una gran varietat de pendents i també ofereix la possibilitat de cobrir tota mena de formes, gràcies a la ductilitat dels materials emprats (fotografia inferior dreta).

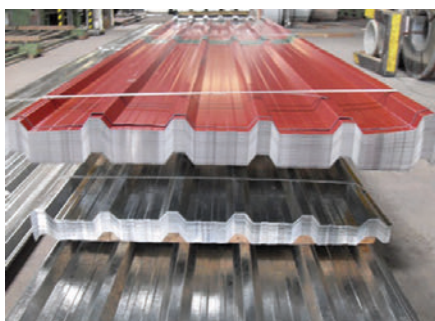


Plaques de fibrociment i xapes perfilades

Les plaques de fibrociment i les xapes perfilades d'acer, galvanitzades o lacades, per mitjà de la seva forma responen a la doble funció d'evacuar aigües i oferir una resistència suficient per garantir l'accés a les cobertes a fer-hi tasques de conservació. La fotografia esquerra de la pàgina següent mostra un conjunt de xapes perfilades per a cobertes a punt de ser expedides. La fotografia de la dreta mostra una coberta de xapa, amb ondulacions obtingudes per mitjà d'encunyys.



Cada cop de premsa genera a la xapa un gir de 3°. El radi de curvatura s'obté de la separació entre els encunys.



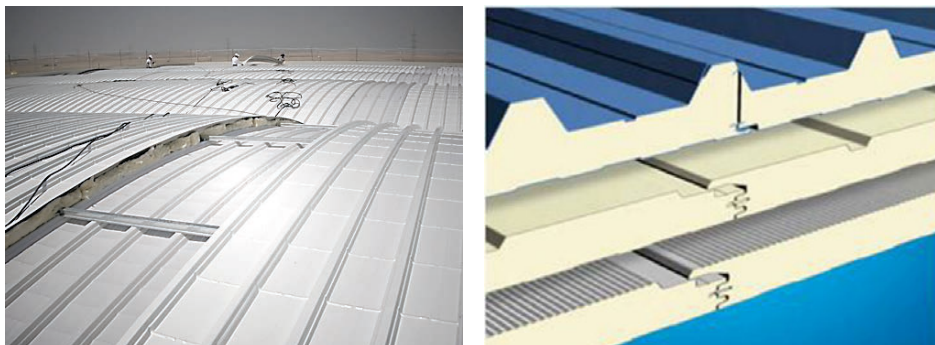
Les plaques de fibrociment es fabricaven originàriament incorporant amiant, un material que produeix un polsim altament cancerigen quan les plaques es trenquen (fotografia inferior esquerra). Per aquest motiu, les plaques modernes de fibrociment no en contenen. La desconstrucció de les cobertes antigues l'ha de fer personal especialitzat convenientment equipat (fotografia de la dreta).



Les plaques es poden fixar directament al suport per mitjà de cargols o es poden unir amb ganxos a elements estructurals lineals, com les corretges. Es tracta de solucions molt econòmiques però de baixes prestacions tèrmiques i estètiques. El seu ús queda restringit a la indústria, a l'agricultura i a la ramaderia.

Cobertes "sandvitx"

Les cobertes "sandvitx" aporten millores substancials en les prestacions respecte al model elaborat amb xapa simple. Són un conjunt integrat per dues xapes d'acer conformat en fred i lacat, entre les quals es col·loca un aïllant tèrmic flexible com la llana de fibra de roca (fotografia esquerra de la pàgina següent), o rígid com l'escuma de poliuretà injectat (fotografia dreta). El conjunt es colla directament a les corretges de l'estructura per mitjà de cargols autoenroscables.



S'aconsegueix una coberta molt lleugera amb bon acabat interior i exterior, amb un bon aïllament tèrmic però amb una capacitat escassa d'aïllament acústic. Per aquest motiu, se'n restringeix l'ús a edificacions industrials, agropecuàries i esportives.

Si bé es tracta d'un tipus de coberta tecnològicament avançat, atès que pot incorporar lluernes, la coberta "sandvitx" s'inclou dins el grup de les d'evacuació perquè requereix un pendent mínim del 5 %.

13.7.2. Cobertes d'obturació. Resum de tipologies

A continuació, es detalla l'esquema de les tipologies de les cobertes d'obturació, en què es consideren dos grans grups: les solucions pesants i les solucions lleugeres.

Solucions pesants. Són aquelles en què el paquet de materials que conformen l'aïllament tèrmic, l'estanquitat i l'acabat es recolzen sobre un sostre convencional. Són adequades per a edificis d'habitatges, docents, hospitalaris i terciaris, en què un bon aïllament acústic, a banda del tèrmic, és un factor determinant. Les solucions pesants permeten incorporar màquines d'aire condicionat i instal·lacions, sense necessitat de construir estructures específiques.

En funció de la disposició de la làmina aïllant, es tenen dues opcions: la solució tradicional i la invertida. Si es consideren els usos de la coberta, l'acabat pot ser trepitjable, si ha de permetre un ús intensiu, fotografia inferior esquerra corresponent a un paviment ceràmic, o accessible, si només ha de ser per conservació, cas del còdols de la fotografia dreta.





Solucions lleugeres. Estan formades per un suport de xapes perfilades, conformades en fred, fixades sobre corretges de perfils d'acer que descansen sobre pòrtics també d'acer. La separació entre corretges està estudiada perquè la xapa conformada ofereixi la rigidesa suficient per suportar tasques de conservació.

Dins d'aquesta família, es troben les cobertes acabades amb grava i les cobertes de tipus *deck*, molt més lleugeres. En el primer tipus, entre la membrana impermeable i l'aïllament tèrmic es col·loca un geotèxtil per tal de protegir la membrana de les grava, que, amb el seu pes, la mantenen en posició.



La fotografia superior esquerra mostra una coberta deck en construcció per ser acabada amb una capa de grava. La fotografia de la dreta pertany a una coberta deck acabada amb una tela autoprotegida.

Solució pesant tradicional. Procés constructiu.

A continuació, es detallen, seguint l'ordre de construcció, les operacions necessàries per construir un terrat pesant tradicional. Aquesta tipologia fou la dominant fins a mitjan anys setanta.

- Sobre el sostre, es formen els pendants del terrat amb “tocs”
- El morter lleuger s'estén seguint els pendants. Inicialment, aquest morter, realitzat amb additius escumejants, era l'únic aïllament tèrmic. Posteriorment, als anys vuitanta, es va afegir sobre el morter lleuger una làmina d'aïllament tèrmic formada per plaques de poliestirè extrudit.
- Opcionalment, es pot interposar un geotèxtil entre l'aïllament tèrmic i la tela asfàltica.
- La tela asfàltica es cobreix amb un geotèxtil per protegir-la de les accions mecàniques derivades de la col·locació del paviment.
- Sobre el geotèxtil, s'estén una capa de morter de calç o mixt (per tal que sigui flexible), sobre la qual es fixa una capa de rajola de terrat invertida, amb les estries a la cara superior, i, a sobre d'ella, es col·loca l'acabat definitiu.



- Si no es disposa de geotèxtils per protegir la tela, l'alternativa és adherir la primera capa de rajola invertida directament sobre la tela asfàltica amb morter bituminós. I, sobre la rajola invertida, es fixa el paviment.
- Aquesta solució, considerada tradicional perquè és anterior a la generalització de l'ús dels aïllaments tèrmics a les cobertes, sotmet la tela asfàltica a grans canvis tèrmics, raó per la qual aquesta perd elasticitat ràpidament i les goteres no tarden a aparèixer.

Solucions invertides

A continuació, es detallen, seguint l'ordre de construcció, les operacions necessàries per construir un terrat pesant de tipus invertit. Per les seves prestacions, són les que s'empren més actualment.

- Sobre el sostre, es formen els pendents del terrat amb "tocs".
- El morter lleuger s'estén seguint els pendents.
- Es col·loca una làmina protectora de geotèxtil i, a sobre d'ella, la tela asfàltica.
- Sobre la tela, se situa l'aïllament tèrmic en forma de plaques de poliestirè extrudit, proveïdes amb galzes perimetrals per garantir un millor encaix i trencar el pont tèrmic dels junts.
- L'aïllament tèrmic es protegeix amb un geotèxtil.
- Si l'acabat és trepitjable sobre el geotèxtil, es col·loquen les dues capes de rajoles, tal com s'ha descrit a l'apartat anterior.
- En cas que l'acabat previst sigui només accessible per a tasques de manteniment, per tal de fixar el conjunt i evitar les accions del vent s'estén una capa d'entre 5 i 10 cm de gruix, preferentment de còdols.
- En quedar la tela protegida per l'aïllant tèrmic, la seva durabilitat augmenta.

Les fotografies següents mostren diferents fases de la construcció d'una coberta plana pesant. La de l'esquerra mostra la formació de pendents. dreta, s'hi ha col·locat la tela asfàltica.





La fotografia inferior esquerra mostra la coberta, quasi acabada, amb una capa de grava que fixa l'aïllament tèrmic i permet accedir a la coberta per realitzar tasques de conservació.



Sobre les cobertes trepitjables, es poden realitzar paviments flotants per millorar-ne l'aspecte i l'acabat (fotografia superior dreta). Els paviments flotants també serveixen per ocultar instal·lacions.

Sigui quina sigui la solució de coberta adoptada, cal tenir cura dels punts delicats. En el cas dels bimbells, són els encontres entre els plans o les buneres. A aquest efecte, es dobra la tela en els punts conflictius per mitjà de l'addició de bandes i així la impermeabilització és més resistent enfront dels esforços mecànics.

Les membranes de les cobertes d'obturació

Les membranes són l'ànima de les cobertes d'obturació i també el seu punt feble, atès que tenen una vida útil limitada, d'entre 15 i 20 anys, per una sèrie de circumstàncies que s'aniran exposant.

Els materials de base de les membranes són:

- El betum modificat
- El PVC
- El butil

El betum modificat

Avantatges:

- És econòmic i n'hi ha una extensa gamma disponible al mercat.
- És fàcil de treballar i de soldar.
- Disposa de solucions autoprotegides, amb sorra de pissarra de diferents colors i amb alumini gofrat. Permet que la membrana pugui ser trepitjada per dur a terme tasques de conservació.

Inconvenients:

- Amb el temps, perd flexibilitat i es torna trencadís.
- Presenta poca resistència mecànica, malgrat estar protegit per dues làmines de polietilè.



La fotografia esquerra següent mostra la fase de col·locació d'una membrana de betum modificat. La de la dreta il·lustra una prova de l'estanquitat de la membrana d'una coberta inundant-la durant 48 hores.



EI PVC

Avantatges:

- És relativament econòmic: té un preu intermedi entre el betum modificat i el butil.
- És flexible.
- Té una gran durabilitat en les condicions de treball.

Inconvenients:

- És més complex de treballar que les membranes asfàltiques, especialment les zones delicades, els encontres, les cantonades, els baixants, els elements de petit format...
- La cola que uneix les membranes entre si es degrada molt abans que el conjunt. Aquest és el punt feble del sistema.
- Les membranes de PVC no disposen de mecanismes d'autoprotecció, sinó que han de quedar protegides per graves o paviments.

La fotografia inferior esquerra mostra la fixació mecànica d'una tela de PVC; la de la dreta correspon a una membrada de PVC aplicada com a acabat definitiu d'una coberta no trepitjable.





El butil

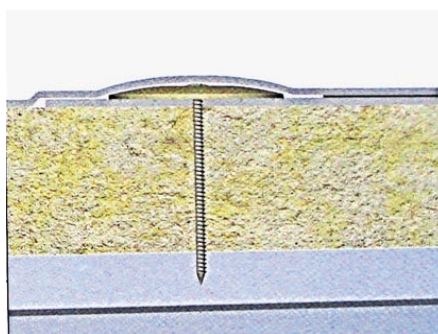
Avantatges:

- Les membranes de butil són les més durables i resistents mecànicament.

Inconvenients:

- Tenen un preu elevat.
- Les unions fallen per degradació de les coles. A diferència dels betums, les membranes de butil no es poden soldar.

La fotografia de l'esquerra mostra el procés d'encolatge d'una tela butílica; el gràfic de la dreta mostra un model de fixació mecànica per a teles butíliques situades sobre aïllament tèrmic recolzat sobre xapa perfilada.





Divisòries interiors

14.1 Introducció a les divisòries interiors i a les seves funcions

A dins dels edificis, es desenvolupen activitats molt diverses, cadascuna de les quals requereix unes condicions específiques d'espai privat o públic, de confort, de privacitat i de seguretat. La funcionalitat dels edificis requereix que la majoria d'aquestes activitats es desenvolupin alhora, sense que s'interfereixin les unes amb les altres.

En aquestes condicions, és evident que cal compartimentar els espais interiors de l'edifici i fer-ho de forma jeràrquica. En primer lloc, si és el cas, cal segregar les propietats dins d'un mateix edifici. El segon nivell ha de ser segregar les activitats de caràcter públic de les privades. I, finalment, caldria segregar les privades en funció de les seves necessitats específiques d'ús: treball, lleure, preparació d'aliments, cura personal, etc. La jerarquia entre les divisòries ve marcada, fonamentalment, per paràmetres objectius de seguretat enfront de la intrusió, la resistència al foc i l'aïllament acústic, aspectes que es tradueixen en més gruix i més pes com més gran és la seva transcendència.

L'anomenada "via seca", que prioritza el muntatge i la industrialització, ha passat al davant de la tradicional "via humida", basada en l'addició d'elements de format divers, fonamentalment ceràmics.

En aquesta decisió, han estat determinants aspectes com ara la facilitat de fer adaptacions a les distribucions al llarg de la vida útil de l'edifici, la reducció dels residus i la possibilitat d'una fàcil i acurada desconstrucció.

Els grans espais diàfans, destinats a oficines o a locals de negoci, se solen compartimentar amb mampares, elements modulats i prefabricats, suportats per perfils d'alumini, sobre els quals es fixen vidres i panells de melamina o fusta. Es combinen les parts transparents o semitransparents amb les zones opaques. Les mampares formen part de l'anomenada "via seca".



Amb elles, es busca aconseguir privacitat i aïllament acústic dins d'un mateix ambient general de treball, sense renunciar a la possibilitat de fer canvis en la distribució.

La fotografia inferior esquerra mostra uns envans tradicionals a punt de ser en- guixats. La fotografia central permet apreciar l'estructura de suport de les plaques de cartó guix i la fixació de les plaques d'una de les cares. I la fotografia de la dreta detalla una divisòria acabada de plaques de cartó guix amb els junts i els forats dels cargols de subjecció massillats.



Les fotografies inferiors mostren tres tipus de mampara d'oficina, instal·lades. La de l'esquerra és la més senzilla; la central té persianes de lamel·les per disposar de vistes o de privacitat, i la de la dreta ofereix una solució en vidre del sostre terra, darrere del qual s'incorporen persianes de lamel·les que cobreixen tota la superfície.



Com es pot observar, a l'hora de compartimentar un edifici es disposa d'una gran varietat de solucions constructives, en què la "via seca" s'està imposant als darrers anys, tant per raons tecnològiques com de sostenibilitat.

14.2 Requisits i prestacions de les divisòries

Les divisòries interiors, pel la seva posició i disposició espacial, constitueixen una part del sistema de tancaments. Necessiten elements específics i compleixen funcions pròpies, clarament diferenciades dels elements de pell que s'han presentat al capítol anterior.

Les divisòries interiors generalment no compleixen funcions estructurals, si bé als edificis realitzats amb parets estructurals a vegades poden simultaniejar les funcions estructurals i de tancament.

La funció principal encomanada a les divisòries interiors és segregar o separar els espais i, al mateix temps, permetre una certa permeabilitat entre ells, en



funció de les necessitats d'ús. Així doncs, les divisòries interiors han de garantir l'accés i contribuir a la salubritat de les dependències a les quals serveixen.

Els espais interiors dels edificis presenten gradacions quant a la seva privacitat. En general, s'hi poden diferenciar dos grans sectors: els espais comuns i els espais d'ús privatiu. A partir d'ells, es conformen quatre tipologies de divisòries:

- Separacions entre espais comuns i espais privats
- Separacions entre propietats
- Separacions entre àmbits d'usos diferenciats pertanyents a un mateix propietari
- Zones de servei amb requeriments específics per a la contenció del foc, de radiacions o d'emissions acústiques, com ara les cambres de les calderes, les sales de màquines, els equips de raigs X o els locals de concurrència pública

Les separacions entre les àrees comunes i les privades requereixen un nivell alt d'aïllament acústic, de protecció contra el foc i de seguretat contra la intrusió, però amb la permeabilitat suficient per facilitar l'accés de l'àmbit públic al privat, i viceversa.

Les separacions entre propietats han de complir, en general, els mateixos requisits que les parts opaques de les divisòries primàries. Per tal d'evitar intrusions, es diferencien de les primeres perquè són totalment impermeables al pas. En ambdues situacions, l'aïllament tèrmic és un requisit secundari, ja que no s'acostumen a produir salts tèrmics significatius a banda i banda d'aquest tipus de divisòries.

Les solucions constructives amb capacitat de complir els requisits esmentats s'anomenen *divisòries primàries*. Tradicionalment, les divisòries primàries es resolien amb parets pesants de fàbrica, de pedra, de totxo o de bloc, que podien incorporar, a més, funcions de tipus estructural.

Les divisòries primàries també es poden resoldre amb solucions seques, amb plaques de cartó guix suportades per una estructura de perfils d'acer galvanitzat. Malgrat que no tenen prestacions estructurals, aquests tipus de divisòries resulten igualment eficients pel que fa al compliment dels requisits d'aïllament acústic, protecció contra el foc i seguretat contra la intrusió.

Les separacions entre les àrees privades d'un mateix propietari, anomenades *divisòries secundàries*, es resolen amb solucions molt més lleugeres pel que fa als requisits relatius a l'aïllament acústic i a la resistència al foc, per raó del grau més baix de privacitat que han de garantir i de la seva permeabilitat més gran.

Les zones de servei, en funció del seu risc potencial, poden requerir que determinades prestacions siguin molt més elevades que les de la resta de l'edifici. En aquestes situacions, els tancaments es dissenyen específicament per satisfer-les, ja sigui incrementant-ne el gruix o addicionant capes per amortir la transmissió acústica o evitar la propagació de les radiacions produïdes, per exemple, pels aparells de raigs X.



14.3 Altres requisits de les divisòries

Tant si es tracta de divisòries primàries com secundàries, en fer l'elecció final, cal considerar i ponderar els aspectes relatius a la seva constructibilitat, juntament amb les prestacions funcionals que els són pròpies, que ja s'han exposat a l'apartat anterior.

Els aspectes més rellevants, relatius a la constructibilitat de les divisòries, són:

- La qualitat de la superfície, mesurable físicament en funció de les toleràncies admissibles relatives a l'alineació, la verticalitat i la planitud.
- La resistència mecànica. En determinades situacions, cal considerar la conveniència de reforçar el primer metre de la divisòria, comptat a partir del paviment.
- El cost de la primera instal·lació i de manteniment, i les possibilitats de reciclar els materials procedents de la desconstrucció.
- La diversitat d'acabats que poden suportar.
- El grau d'adaptació als canvis de les diverses solucions constructives que el mercat ofereix. Les anomenades "solucions seques" solen oferir avantatges en aquelles circumstàncies en què es preveu un cert grau de provisionalitat a les divisòries.
- Respecte a la privacitat, les divisòries interiors ofereixen la possibilitat de triar entre diverses opcions: opaques, translúcides, transparents o mixtes.

L'aïllament acústic és un dels cavalls de batalla de les divisòries, especialment de les primàries i de les que han de complir uns requisits especials.

A més del soroll aeri, cal tenir present el soroll de transmissió dels materials de construcció. Cal recórrer a solucions constructives com ara paviments flotants o introduir bandes elàstiques per evitar molèsties als usuaris.

CTE. DB HR. "Protección frente al ruido". Ofereix una taula de valors d'aïllament de les façanes, que s'adjunta a títol orientatiu i que és aplicable a les divisòries primàries i a les secundàries amb requisits específics.

L_d dBA	Uso del edificio			
	Residencial y hospitalario		Cultural, sanitario ⁽¹⁾ , docente y administrativo	
	Dormitorios	Estancias	Estancias	Aulas
$L_d \leq 60$	30	30	30	30
$60 < L_d \leq 65$	32	30	32	30
$65 < L_d \leq 70$	37	32	37	32
$70 < L_d \leq 75$	42	37	42	37
$L_d > 75$	47	42	47	42

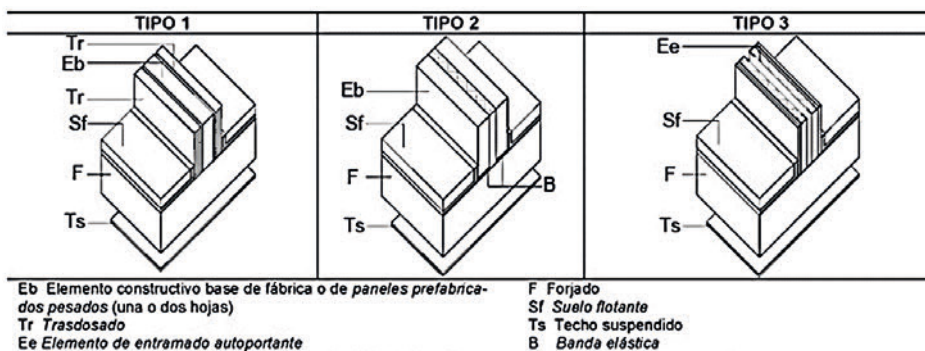
(1) En edificios de uso no, hospitalario, es decir, edificios de asistencia sanitaria de carácter ambulatorio, como despachos médicos, consultas, áreas destinadas al diagnóstico y tratamiento, etc.



14.4 Tipus de divisòries secundàries segons el CTE

El CTE distingeix tres tipus de divisòries secundàries o envans (gràfics inferiors):

- De fàbrica (tipus 1). Estan constituïts per parets primes de totxos de diferents formats i panells pesants, materialitzats per plaques de guix massisses adherides entre si, amb recolzament directe sobre el sostre.
- De fàbrica (tipus 2). La seva composició és la mateixa que a l'apartat interior, però amb la interposició de bandes elàstiques a la zona de recolzament. D'aquesta manera, s'aconsegueix amortir els sorolls d'impacte. En aquests dos grups, hi tenen cabuda les divisòries realitzades amb pavès de vidre.
- Entramats autoportants (tipus 3). En aquesta categoria, s'hi inclouen les solucions amb planxes de cartó guix fixades a una subestructura de perfils galvanitzats, les divisòries d'estructura de perfils d'alumini o acer inoxidable, opaques, mixtes, transparents o translúcides.



Les fotografies següents mostren dos exemples de la diversitat de formats de totxos que existeixen en el mercat per realitzar envans.



La fotografia esquerra de la pàgina següent mostra totxos ceràmics preenguijats de diferents gruixos. Aquest fou un darrer intent, fallit, de la indústria de la ceràmica per competir amb les solucions seques, basades en la utilització de plaques de cartó guix.



La intervenció dels guixaires en una obra genera brutícia i problemes logístics. L'enguixat dificulta el reciclatge dels totxos a conseqüència de l'expansivitat del guix en presència d'aigua.

Cal concloure, doncs, que els envans ceràmics han de desaparèixer de les noves construccions, no tant perquè es prohibeixi emprar-los per raons ambientals, sinó més aviat perquè els professionals s'han convençut que han quedat obsolets.

La fotografia de la dreta correspon a l'execució d'una divisòria amb plaques de guix massisses. La seva utilització i les seves prestacions, compensant avantatges i inconvenients, queden lleugerament per sota dels envans ceràmics tradicionals, raó per la qual s'empren poc.



14.5 Les plaques de cartó guix i les seves prestacions

Per la seva versatilitat i adaptabilitat a tota mena de prestacions, les plaques de cartó guix, muntades amb cargols autoenroscables sobre perfils d'acer galvanitzat, constitueixen avui l'alternativa més eficient i raonable per construir divisòries secundàries.

La seva amplada estàndard és de 1.200 mm, de manera que un sol home les pot abastar i transportar. Les longituds habituals oscil·len entre els 2.500 i els 3.000 mm. La seva densitat varia, segons els fabricants, entre 700 i 800 kg/m³. Una placa de 1.200 × 3.000 × 13 mm i una densitat mitjana de 750 kg/m³ pesa 35,10 kg, cosa que permet que un sol home les pugui manipular per col·locar-les en posició.

Les plaques de cartó guix es poden tallar fàcilment amb una serra per tal d'adaptar-les a les necessitats de l'obra.

Per tal que puguin ser manipulades per una sola persona, les plaques de cartó guix es fabriquen en gruixos de 10, 13, 15 i 18 mm. Quan es tracta de solucions constructives que requereixen gruixos més grans, es resolen col·locant dobles plaques a trencajunts.

A continuació, es descriuen els tipus de plaques existents al mercat per tal d'adaptar-se a uns requisits específics. S'identifiquen fàcilment pels seus colors:

- Placa estàndard bàsica BA (blanca). D'ús genèric, uneix al comportament mecànic l'aïllament tèrmic i acústic. Presenta dos gruixos bàsics, de 13 i 15 mm, i diverses mides.



- Placa PPM per a humitat (verda). És indicada per a cambres humides, per la seva alta capacitat d'absorció d'aigua i resistència a la humitat.
- Placa Phonique PPH (blava). Millora l'aïllament acústic. També destaca per la seva resistència al foc i la seva duresa.
- Placa contra el foc PPF (rosa). S'utilitza en cambres de comptadors i de màquines, en zones de calderes, etc.
- Placa d'alta duresa Impact (groga). S'utilitza en zones de pas, col·legis o locals d'ús públic intensiu.
- Placa amb aïllament incorporat. S'empra exclusivament en extradossats. Es tracta d'una placa estàndard que té panells de poliestirè expandit o de llana mineral adherits de fàbrica.

14.6 Els perfils de suport i les solucions constructives més habituals per a les plaques de cartó guix

La construcció d'una divisòria amb plaques de cartó guix es comença fixant a la cara superior del forjat i al sostre uns perfils d'acer galvanitzat en U, alineats entre si respecte a un pla vertical que uneix el forjat i el sostre.

La separació interior entre les aletes de la U encaixa exactament amb les amplades dels muntants. Les fixacions del pla inferior de la U sobre el formigó es realitzen amb tacs expansius de plàstic i les unions entre perfils, per mitjà de cargols autoenroscables. Per enroscar, s'utilitzen eines mecàniques.

Els muntants que uneixen les U estan formats per perfils C. Se separen entre 40 i 60 cm, segons la geometria i els requisits propis de cada divisòria. Les seccions habituals dels muntants són de 46, 70 i 90 mm. La cara contínua del perfil C disposa d'encunyacions a trams regulars, per permetre el pas de les instal·lacions.

Les divisòries estàndard estan formades per una cara integrada per una placa de 13 o 15 mm, un muntant de 46 mm i una segona cara constituïda per una placa de 13 o 15 mm.

Es poden formar divisòries amb més prestacions acústiques o més resistents al foc per mitjà de dues plaques de 13 o 15 mm, un muntant de 46 mm i dues plaques de 13 o 15 mm a la cara de tancament.

La construcció d'una divisòria resolta amb plaques de cartó guix, sense incloure-hi acabats, consta de les fases següents:

- Replanteig al terra i al sostre de les peces en U.
- Sobre la base del replanteig, col·locació dels perfils U, fixats amb tacs i cargols.
- Fixació dels muntants C als perfils U amb cargols autoenroscables.



- Col·locació de la primera cara unint les plaques als muntants amb cargols autoenroscables.
- Realització de les instal·lacions que hagin de quedar incorporades entre les dues cares aprofitant les encunyacions dels perfils C.
- Un cop provades les instal·lacions, es fixa la segona cara.
- Finalment, es fa l'encadenat i el massillat posterior dels junts. S'obté així una superfície plana, apta per rebre pintura, alicatats o aplacats, en funció dels requisits de l'obra i de les prestacions de les plaques col·locades.

La fotografia inferior esquerra mostra el bisellat de les plaques a la zona de junt i uns fragments de muntants. La fotografia central correspon a les encunyacions que faciliten el pas de les instal·lacions entre les cares interiors de les plaques.

A la de la dreta, es mostren, a la part superior esquerra, els cargols autoenroscables que s'empren per fixar els perfils; a la zona central, les massilles, i, a la dreta, les cintes necessàries per cobrir els junts. El gràfic inferior detalla la necessitat de col·locar cargols cada 25 cm a les zones dels junts, per tal de garantir la fixació correcta entre la placa i el muntant. Finalment, la fotografia de la dreta mostra un operari massillant els junts.



La fotografia inferior esquerra mostra una divisòria de plaques de cartó guix amb una de les cares instal·lada en espera de col·locar-hi les instal·lacions.

La fotografia de la dreta correspon a l'acabat de les divisòries. Un cop realitzat el massillat dels junts entre les plaques, es pot procedir a la pintura. També es pot observar la utilització de plaques de cartó guix per realitzar els acabats del sostre.





La fotografia inferior esquerra mostra el sostre d'una sala d'espectacles tractada amb plaques ignífugues, fàcilment identificables pel seu color rosat. La facilitat amb què es poden treballar les plaques de cartó guix permet realitzar el casquet esfèric que apareix en primer pla.

La fotografia de la dreta correspon a un recull de solucions per fixar càrregues sobre les plaques de cartó guix. Sobre el cartó guix, els tacs referenciats no haurien de suportar càrregues permanents superiors als 15 kg. Quan cal fixar a una divisòria de cartó guix un element pesant, com per exemple un armari de cuina, cal reforçar l'estructura dels perfils de suport i fixar-hi directament les càrregues pesants.



14.7 Anàlisi comparativa entre els envans ceràmics i els de cartó guix

La gran varietat de formats de totxos que existeixen avui al mercat, dissenyats per realitzar divisòries, és una reacció tardana de la indústria de la ceràmica per tractar de mantenir, sense èxit, l'hegemonia en el mercat.

Malgrat el seu avanç tecnològic respecte de les divisòries tradicionals, realitzades amb maó de pla, els envans ceràmics difícilment poden competir amb les solucions "seques" construïdes per mitjà de plaques de cartó guix sobre entramats metàl·lics.

Les raons que expliquen l'hegemonia de les divisòries de cartó guix són aquestes:

Qualitat

És pràcticament impossible obtenir, en un envà ceràmic, elaborat i enguixat manualment, la planitud que ofereix una placa de cartó guix fabricada industrialment, amb toleràncies dimensionals molt ajustades.

Preu

Un envà ceràmic ha de ser enguixat o arrebossat per les dues cares, mentre que els envans de cartó guix poden ser aplacats o pintats directament. Un envà ceràmic costa entre 10,00 i 11,00 €/m² i l'enguixat, uns 9,70 € per cara, amb la incidència d'angles i arestes. Considerant un preu mitjà per a l'envà ceràmic de



10,50 €, més el preu de l'enguixat, es té un cost total de 29,90 €/m², pràcticament el mateix que un envà de cartó guix, que costa 30,00 €/m².

Pel que fa al preu, la ceràmica i el cartó guix són opcions molt similars; els factors diferencials cal cercar-los en altres aspectes. El fet que les plaques de cartó guix no requereixin regates decanta el preu al seu favor. Les regates cal fer-les i tapar-les i això suposa generar dos residus: els dels totxos i els dels morters i les pastes.

Temps

Un rendiment més alt i menys volum de residus són qualitats pròpies de les solucions seques. La neteja d'obra és més senzilla amb les plaques de cartó guix que quan es realitzen envans ceràmics. La presència d'aigua és una dificultat afegida a l'hora de la neteja. Aquests valors acaben incidint en l'organització de l'obra i, en conseqüència, en la reducció del temps global d'execució a favor de les plaques de cartó guix.

Versatilitat

Els envans ceràmics no ofereixen la facilitat de fer canvis de distribució que sí que tenen els de cartó guix. Aquests últims també ofereixen solucions específiques, acústiques, contra foc i per realitzar divisòries primàries (interposant xapes d'acer per evitar intrusions dels veïns).

Les plaques de cartó guix són fàcils de treballar. Permeten realitzar corbes i superfícies guexades molt costoses de fer amb els mètodes tradicionals. Ofereixen la possibilitat d'incorporar instal·lacions i aïllaments a les cambres resultants.

Impacte ambiental i reciclatge

Els envans ceràmics presenten dificultats de reciclatge perquè porten guix adherit. Aquest s'infla en contacte amb l'aigua i limita l'ús de la ceràmica resultant com a àrid. En canvi, en els envans sobre entramats metàl·lics, els components es poden separar fàcilment a efectes de reciclatge.

Per coure la ceràmica, s'ha d'emprar una gran quantitat d'energia. El guix, en canvi, es cou a temperatures més baixes i pràcticament s'utilitza el que seria necessari per revestir un envà ceràmic. Les solucions constructives de divisòries resoltes amb plaques de cartó guix resulten més lleugeres que les ceràmiques.

14.8 Divisòries interiors realitzades amb blocs de vidre

Una alternativa interessant per fer divisòries interiors, per les seves prestacions mecàniques i els seus valors funcionals i estètics, són els blocs de vidre. Els blocs de vidre convencionals, també anomenats pavès, mesuren 19 × 19 × 8 cm, si bé se'n fabriquen d'altres formats, de fins a 30 × 30 cm (fotografia de la pàgina següent).



Alguns models són aptes per a ús exterior i d'altres són trepitjables i permeten realitzar claraboies. El mercat n'ofereix una gamma extensa de colors, textures i acabats. Resulta senzill trobar el model més apropiat per a cada ús. Els blocs de vidre permeten el pas de la llum entre un 50 i un 80 %, segons els models, els colors i el gruix dels junts. En disposar d'una cambra d'aire entre les parets oposades, ofereixen bons nivells d'aïllament tèrmic, acústic, d'estanquitat i de protecció contra el foc.

La seva col·locació es pot efectuar amb morter, incorporant rodons en els junts per donar resistència al tancament. Per garantir la regularitat dels junts, es poden emprar creuetes de material plàstic. El guix habitual dels junts oscil·la entre 3 i 10 mm. També es poden fixar amb silicona sobre perfils d'alumini o de plàstic.

La fotografia inferior esquerra mostra la col·locació de blocs de vidre amb morter. Les tres imatges de la dreta mostren tres aplicacions pràctiques dels blocs de vidre en les quals es combinen l'estètica, la funcionalitat i la privacitat sense trencar la continuïtat de la llum.



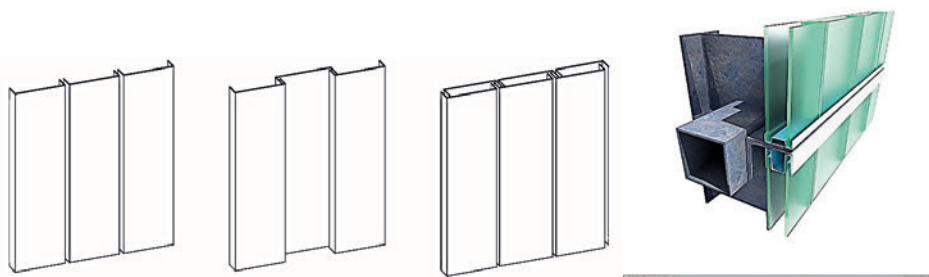
14.9 U-glass

Es designa amb el nom d'U-glass una tira de vidre incolor translúcid, de 6 mm de gruix, amb perfil transversal en forma de U. Fa 26 cm d'amplada per 4 cm de cantell. Es presenta en tires de 5,50 m de llargada i es talla a la mida convenient, emprant els estris tradicionals dels vidriers.

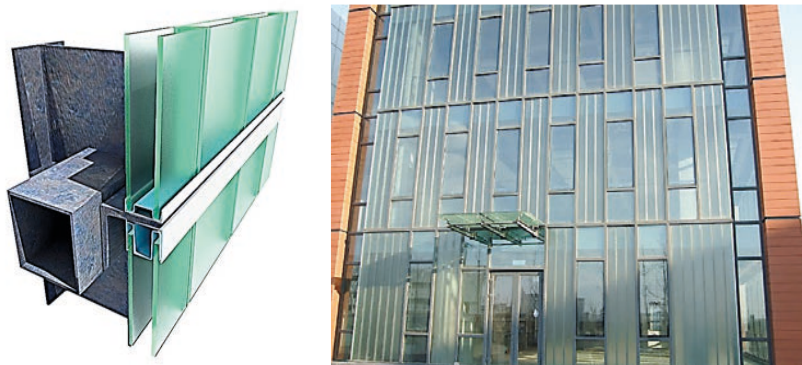
Les tires d'U-glass poden incloure una armadura formada per filferros longitudinals, separats 20 mm entre si. Es tracta de peces autoportants. Tan sols cal subjectar-les pels extrems. Resolen fàcilment el tancament d'obertures de sostre a sostre i generen una llum difusa agradable.



Es poden col·locar de tres maneres, tal com es mostra al gràfic inferior següent (d'esquerra a dreta): en forma de pinta, com a greca o formant una cambra d'aire.



La fotografia de la dreta mostra els perfils de subjecció dels U-glass fixats sobre una estructura metàl·lica. A la part inferior esquerra, es pot observar la folgança del perfil que recull la part superior de l'U-glass, que permet superar la pestanya del perfil inferior i fixar-lo a la base.



La fotografia superior dreta correspon a una façana en la qual les zones no practicables estan resoltes amb U-glass.

14.10 Les divisòries per a oficina. Característiques tècniques i constructives

Les divisòries per a oficina tenen una llarga tradició. Des de final del segle XIX, en desenvolupar-se grans fàbriques i tallers, va sorgir la necessitat de separar els espais dedicats a la producció, generalment bruts i sorollosos, dels propis de l'administració, que requereix ambients més assossegats.

La necessitat d'introduir canvis en la distribució dels espais per adaptar-los a les necessitats de cada moment orientava les solucions constructives cap a associacions de fusta i vidre, fàcils de desmuntar i de transformar.

Les dues fotografies següents en són un exemple. Si bé presenten diferents nivells d'acabat, tenen en comú la disposició d'unes finestretes a través de les



quals es realitzaven els pagaments i s'atenia el públic o els treballadors de la indústria, alhora que es garantia la privacitat de l'interior de l'oficina.



L'aparició i la comercialització de nous materials, com els perfils extrudits d'alumini, els taulers de melamina i els vidres laminars, a partir dels anys cinquanta, varen donar resposta als requeriments de les noves oficines. Aquestes s'instal·laven en edificis específics, amb divisòries precises eficients i adaptables.

L'evolució que han experimentat les divisòries d'oficina al llarg dels anys n'ha depurat el disseny, les prestacions, els materials i els models. Les divisòries d'oficina actuals comparteixen unes característiques comunes, que es detallen a continuació:

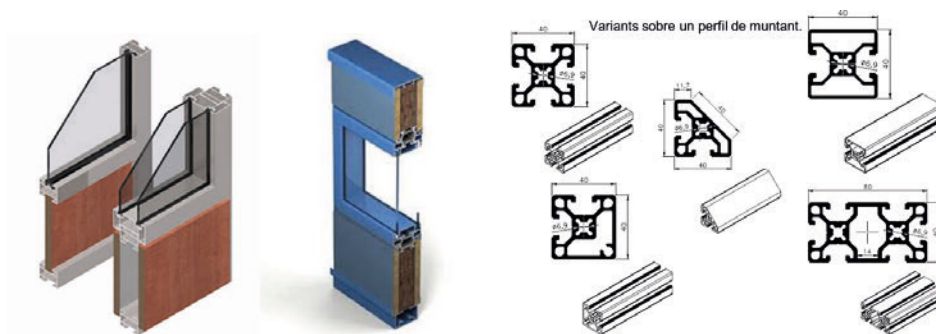
- Es tracta d'elements prefabricats. Així, es garanteix la precisió dimensional i la facilitat de muntatge, i un acabat perfecte.
- Els seus elements estan modulats a fi de treballar amb un nombre reduït de peces, les quals s'utilitzen de forma repetitiva. Malgrat tot, per tal d'adaptar-les a tota mena d'espais, és convenient que disposin d'elements i recursos flexibles.
- Alguns models admeten el pas dels conductes de les instal·lacions pel seu interior. En algunes situacions, es tracta d'un valor afegit que cal ponderar.
- S'han de poder muntar i desmuntar fàcilment i adaptar-se sense complicacions a les noves necessitats.
- En el seu disseny, resulta imprescindible la consideració dels valors estètics, ambientals i ergonòmics.
- Un mateix model ha de poder oferir una gran diversitat d'acabats, quant a materials, textures, colors o la utilització de vinils adherits. Aquests últims poden ressaltar fàcilment la imatge corporativa de l'empresa o suggerir valors com el respecte al medi ambient o la utilització de fonts d'energia alternatives.
- Es presenten amb diferents opcions, en funció de l'equilibri que es busqui, la seva permeabilitat a la llum i el grau de privacitat: tot de vidre, de sòcol i vidre, opaques...



- L'aïllament acústic s'adequa a l'ús. Es tracta d'aconseguir un ambient agradable de treball a banda i banda de la mampara.
- Són resistents al foc. Els materials constitutius de la mampara han d'evitar la propagació i l'emissió de gasos tòxics.
- Estan formades per perfils estructurals i panells de tancament resistents però lleugers. Els perfils estructurals es vinculen mecànicament als elements més resistents de l'edifici, habitualment el sostre i el paviment.
- Cada cop és més freqüent unir, en un paquet integrat comú, les divisòries, els falsos sostres i els terres tècnics.

La fotografia inferior esquerra mostra mampares de diferents prestacions sobre suports i acabats aparentment similars. Pel que fa a les dues marrons, la de l'esquerra consta d'un panell i un vidre senzill, mentre que la de la dreta té els dos elements doblats. La secció de la mampara blava, per bé que compta amb un vidre senzill, a l'interior de la cambra entre els panells es pot observar un aïllament acústic.

Les seccions de perfils d'alumini extrudit de la dreta mostren com, a partir del disseny del perfil situat a l'angle superior esquerre, que permet l'encreuament de divisòries, se'n desenvolupen d'altres, com el de continuïtat entre panells d'un mateix pla (a la dreta), el de cantonada (al centre), el de cantonada bisellada (a baix a l'esquerra) o un que permet crear una divisòria amb cambra (a baix a la dreta).



Per últim les dues fotografies següents són representatives de l'ampli ventall estètic i conceptual que poden cobrir les divisòries per a oficina que ofereix el mercat.





14.11 Les portes interiors

Les portes interiors complementen les divisòries i les fan permeables. Permeten, alternativament, el pas i la privacitat. També faciliten la ventilació de les estances que serveixen.

Les portes interiors, amb els seus accessoris inclosos, contribueixen significativament a la qualitat de la imatge visual interior dels edificis, raó per la qual s'han de triar tenint en compte tant els aspectes estètics, com els funcionals i els econòmics.

Actualment, les portes interiors de les divisòries, enteses com a elements permeables al pas, es fixen a l'obra a partir de la col·locació de premarcs. Així, es redueixen a l'obra els treballs artesans de fixar les frontisses al bastiment, ajustar la fulla a l'obertura del bastiment i col·locar el mecanisme d'obertura, que són propis de la fusteria tradicional d'obra.

El marc i la fulla de la porta formen un conjunt anomenat *block*, que arriba a l'obra a punt per a ser-hi instal·lat. La seva fabricació es realitza de forma seriada en factories dotades de maquinària de control numèric. Se'n controla rigorosament la qualitat. Alguns fabricants, per oferir més garanties, sol·liciten que laboratoris independents certifiquin les prestacions dels seus productes.

Els premarcs s'han de fixar i anivellar correctament a l'obra, perquè són la base del treball posterior de col·locació de les portes en *block*. Els premarcs tenen una certa folgança, d'1 cm per banda, per poder anivellar i fixar provisionalment el block amb falques.

El marc de les portes en *block* es fixa al premarc per mitjà dels cargols de les frontisses i, a l'altre costat, emprant els de subjecció del sistema de tancament. D'aquesta manera, la porta queda subjecta, sense cap necessitat de claus o cargols visibles en el marc. Els espais entre el premarc i el marc de la porta en *block* es reomplen amb escuma de poliuretà. Un cop seca l'escuma, els sobrants es tallen amb un cúter i es procedeix a col·locar els tapajunts emprant cola de muntatge o agulles d'acer.

El mercat ofereix una gamma extensa de portes en *block*, pel que fa a:

- **La superfície de la fulla.** Es poden resoldre amb xapats de fusta natural, imitacions de fusta o taulers de melamina, per citar les solucions més comunes.
- **L'ànima de la fulla.** Depèn de l'ús i de les prestacions de la porta. Quant més pesant, millor és l'aïllament acústic. Per qüestions de seguretat contra la intrusió i contra el foc, poden incorporar xapes metàl·liques o estructures reforçades amb acer i materials refractaris.
- **Disseny.** Les fulles poden ser llises o motllurades amb variants molt diverses: provençals, plafonades o de quarterons.
- **Acabat.** Els acabats de les portes poden ser molt diversos. D'una banda, hi ha portes pintades, lacades o envernissades. En canvi, les realitzades amb taulers de melamina no requereixen cap acabat addicional.



- **Ferratges.** Les portes en block habitualment no vénen equipades amb ferratges. Aquests es poden escollir entre la gran varietat que ofereix el mercat. A tall d'exemple, la fotografia inferior esquerra mostra diferents models de frontisses. I la fotografia situada a la seva dreta presenta uns quants models de poms i de manetes.

A sota, a l'esquerra, es mostra un pany amb quatre punts d'ancoratge, proveït amb elements de protecció per dificultar la perforació de la zona de la clau. I, a la dreta, una gran varietat de coixinets per a les portes corredisses.



14.12 Requisits generals per a les portes interiors

A continuació, es detallen els requisits més significatius que han de complir les portes instal·lades en divisòries interiors.

Aïllament acústic

L'aïllament acústic d'una porta depèn de la massa de la fulla i del seu ajust al marc i al paviment. Es pot millorar incorporant rivets als junts per dificultar el pas de les ones sonores.

Aïllament tèrmic

És una característica poc rellevant en les portes de les divisòries interiors, atès que a l'interior dels espais privats dels edificis el diferencial tèrmic entre ells habitualment no és significatiu.



Seguretat contra la intrusió

La seguretat contra la intrusió adquireix importància en els edificis d'accés públic que han de mantenir àrees de privacitat i de custòdia, com les oficines, especialment les bancàries, o els hotels.

Per evitar duplicitats d'un gran nombre de claus, es pot procedir a fer, dins d'un edifici o en un àmbit d'aquest, un mestratge de claus, de manera que, en funció d'un organigrama de competències, amb una mateixa clau es tindrà accés a més portes que la persona situada immediatament per sota. Per exemple, hi ha claus que obren una sola habitació d'un hotel; altres que obren totes les habitacions d'una planta, i d'altres que obren totes les habitacions de l'hotel.

Actualment, l'electrònica, en forma de targetes magnètiques, comandaments a distància o la lectura de les empremtes digitals, entre d'altres mètodes, ofereix noves possibilitats per millorar la gestió de la seguretat contra la intrusió.

Comportament enfront del foc

En general, les portes interiors, pel fet d'estar fabricades fonamentalment amb fusta o amb derivats de la fusta, per bé que són combustibles, no representen una càrrega de foc substantiva. En zones de risc potencial, es disposen portes no propagadores del foc i, fins i tot, portes tallafocs, amb resistències homologades a l'efecte.

14.13 Tipus de portes interiors

A continuació, es detallen els tipus més comuns de portes, d'una fulla i de dues, que s'utilitzen en les divisòries interiors, en funció del seu sistema d'obertura, de la seva permeabilitat a la llum i de les seves prestacions específiques.

Segons el sistema d'obertura

De batent. Són les portes més comunes. Tenen un gir limitat als 180° en tenir les frontisses a un costat i el galze a l'altre. Molt sovint, però, el seu gir es limita a 90° perquè se situen a les cantonades de les peces per aconseguir un millor aprofitament de l'espai.

De doble batent. S'utilitzen en zones de molt de pas en les dues direccions; per exemple, en el accés d'una cuina o en un quiròfan. Com que les persones que les utilitzen porten les mans ocupades o no poden tocar res amb elles, estan preparades per poder-se obrir amb el peu. En aquestes condicions, és important disposar un ull de bou a les fulles per evitar lesionar algú o resultar lesionat.

Les fotografies de la pàgina següent mostren dos models de porta de doble batent: la de l'esquerra, amb ull de bou i sense protecció inferior i, la de la dreta, amb una àmplia vidriera i dotada d'una xapa protectora per facilitar l'obertura amb el peu.



Corredissa. Les fulles disposen de coixinets que llisquen sobre un carril fixat al travessar del marc. Les portes corredisses poden ser rasants al parament o bé quedar embotides entre dos envans. Si són de grans dimensions, permeten ampliar i separar estances ràpidament per tal d'adaptar-se a usos diversos.

La fotografia inferior esquerra mostra una porta corredissa rasant al parament amb la guia amagada en un caixó de fusta. La fotografia central detalla com es pot encastar una porta corredissa en un parament prim, utilitzant una xapa perforada galvanitzada, que pot ser revestida amb l'acabat general del parament. La fotografia de la dreta correspon a una variant de porta corredissa anomenada plegable, de manera que, quan els fulls estan oberts, queden replegats sobre els brancals.



Segons la permeabilitat a la llum

Opaques. Són les més habituals, atès que les portes es plantegen, majoritàriament, com a elements de privacitat visual i acústica.

Amb ull de bou. Es tracta de dotar la fulla de la porta amb una obertura circular o quadrada, d'uns 30 cm, per tal de poder veure si hi ha algú a l'altre costat de la porta abans d'obrir-la.

Vidriera. Porta en què una part significativa de la fulla és de vidre per permetre el pas de la llum a una peça on no n'entra. En funció del grau de privacitat i dels

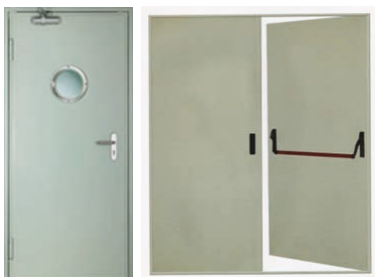


efectes decoratius que es vulguin assolir, els vidres poden ser transparents, translúcids o acolorits. El suport dels vidres pot ser perimetral o per mitjà de la inclusió d'unes barretes que fragmentin la zona on es disposen els vidres.

De vidre. Els vidres trempats permeten realitzar portes totalment de vidre transparent, fumat, esmerilat o tractat a l'àcid. També poden incorporar vinils. Requeixen unes frontisses especials.

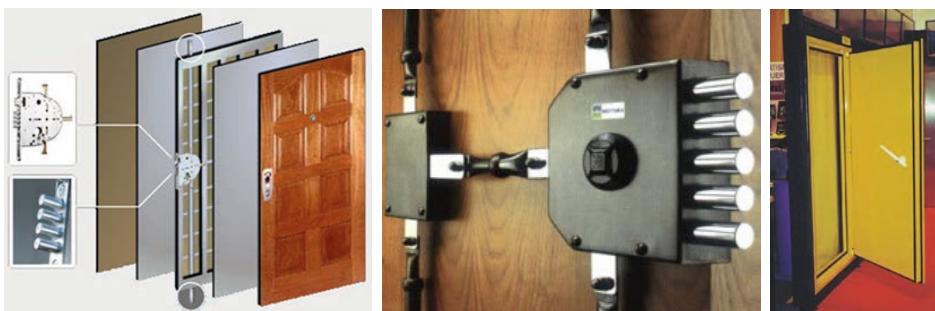
Amb unes prestacions específiques

Tallafocs. Són portes homologades. Habitualment, estan acabades amb una xapa metàl·lica pintada (fotografia inferior esquerra), però el mercat també ofereix portes tallafocs de gran qualitat amb acabats de fusta que, en aparença, no es diferencien de les convencionals.



Antipànic. Són portes pròpies de les vies d'evacuació. Poden ser tallafocs, o no. En tot cas, disposen d'un mecanisme d'obertura format per una barra transversal clarament visible que, en ser pressionada, obre automàticament la fulla (fotografia superior dreta).

Blindades. Estan concebudes per frustrar o per dificultar els processos d'intrusió. Disposen de bastiments i de fulles reforçades amb xapes i amb estructures metàl·liques, així com panys difícils de vulnerar que, quan tanquen, fixen la porta en diferents punts de tot el perímetre. La fotografia inferior esquerra mostra les capes i el pany d'un model de porta blindada. La fotografia central permet apreciar el detall d'un pany dotat de lleves per aconseguir blocar la porta a tot el seu perímetre.



Acústiques. Proporcionen un alt grau d'aïllament acústic per poder realitzar treballs professionals d'emissió o de gravació de so. Són portes pesants, habitual-



ment acabades amb xapes d'acer, que disposen d'un potent rivet perimetral que és comprimit fortament per una tanca de tipus nevera.

A la fotografia dreta de la pàgina anterior, es mostra una porta acústica. Se'n pot apreciar el gruix i la presència de rivets de goma, els quals són comprimits per la palanca que s'efectua sobre la maneta en tancar la porta.





Instal·lacions i acabats interiors

15.1 La funció de les instal·lacions

A mesura que s'han ampliat les prestacions dels edificis i el seu nivell de qualitat, ha calgut introduir nous elements per tal de garantir aspectes bàsics, en les condicions degudes, com la higiene, la seguretat, el confort ambiental o les condicions de permeabilitat entre l'interior i l'exterior dels edificis.

Les instal·lacions s'han convertit, per la seva entitat i la rellevància del seu funcionament correcte amb vista a garantir les prestacions dels edificis, en un dels sistemes constructius amb més pes econòmic dins el conjunt de la construcció. A continuació, s'exposa una llista de subsistemes d'instal·lacions que poden con viure en un mateix edifici, sense pretensió d'exhaustivitat.

- Sanejament
- Aigua i aigua calenta sanitària
- Gas
- Electricitat
- Prevenció d'incendis
- Ventilació
- Ascensors
- Calefacció i aire condicionat
- Telecomunicacions
- Energies alternatives
- Sistemes de seguretat i d'alarmes

La llista evidencia tant la diversitat com la complexitat de les instal·lacions vinculades a l'edificació. El seu tractament ultrapassa el propòsit d'aquest treball, que s'ha centrat fonamentalment a facilitar al lector un primer contacte amb la construcció. Per aquest motiu, només es donaran unes indicacions de caràcter general sobre les instal·lacions. Aquestes línies són només un toc d'atenció sobre la necessitat de continuar avançant en el coneixement de les instal·lacions i la seva integració en el procés constructiu.



Les instal·lacions aporten valor afegit a l'edificació, especialment en els edificis de caràcter terciari, com les oficines i els hotels d'alt nivell, els centres hospitalaris i determinats laboratoris i centres de producció. Tots ells requereixen unes condicions de condicionament interior molt precises per poder desenvolupar correctament les seves funcions. Seria pràcticament impossible mantenir contínuament aquestes condicions sense l'aportació d'energia i sense els equips i els serveis necessaris per transformar-la i distribuir-la.

La incidència de les instal·lacions en aquests tipus d'edificis és tal que el seu cost pot arribar a superar el de la construcció, entenent com a tal el que es deriva de materialitzar tots els altres sistemes constructius, des del moviment de terres fins als acabats.

És evident que, com més alt és el nivell de les instal·lacions, més s'incrementen les despeses d'explotació i de manteniment.

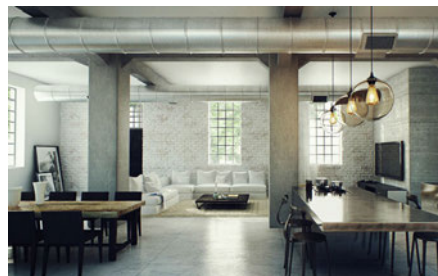
El conjunt de les instal·lacions imposa la necessitat de preveure, en el disseny arquitectònic, les reserves d'espai corresponents per garantir la col·locació de les màquines i els equips, i els passos necessaris dels tubs i dels conductes a través dels sostres i de les divisòries.

A més, cal considerar les servituds pròpies del manteniment i del reemplaçament dels diversos subsistemes d'instal·lacions al final de la seva vida útil. Aquest fet comporta preveure, des de les fases inicials del projecte, registres i altres recursos tècnics en nombre i en dimensions suficients per tal de facilitar les tasques de conservació.

Les instal·lacions s'han convertit, gràcies a la seva incidència sobre el conjunt de l'edificació, en un marc de possibilitats i en un perfil professional de gran projecció. El coneixement i el disseny d'instal·lacions integrades a l'arquitectura és una de les opcions d'especialització que s'ofereixen al graduat en Arquitectura Tècnica i Edificació.

A l'hora d'elegir entre els diferents subsistemes d'instal·lacions, cal cercar l'equilibri en les relacions cost-benefici de cadascun i analitzar les dependències entre els seus requeriments i les prestacions de l'edifici. A tal d'exemple, una millora en l'aïllament tèrmic general de l'edifici té incidència directa sobre la reducció del consum dels sistemes de condicionament interior. Les instal·lacions, malgrat que són necessàries, sovint han estat considerades una molèstia que cal ocultar en falsos sostres (fotografia inferior esquerra), en falsos sòls o en calaixos.

Actualment, el criteri estètic respecte de les instal·lacions va canviant a favor de la seva integració en la composició arquitectònica (fotografia dreta).





Primer, les cobertes planes i, més tard, l'habilitació de plantes tècniques als edificis alts han estat els espais destinats a contenir el gros de les instal·lacions.

Les fotografies següents (esquerra i central) mostren instal·lacions de climatització ubicades en cobertes: en el primer cas, sense protecció acústica i, en el segon, amb la disposició de pantalles de protecció acústica.

La fotografia de la dreta correspon a l'edifici Lloyd's de Londres, en què es poden apreciar les plantes de cogeneració integrades en el disseny.



Els fabricants de sistemes i productes per a les instal·lacions fan grans esforços per al disseny i la millora del rendiment dels seus productes. Com a resultat d'això, els equips cada vegada són més eficients i més compactes.

El compromís de tots els agents implicats en l'edificació és contribuir que aquesta sigui racional i sostenible. El fet de disposar d'equips potents de gran consum energètic, amb la capacitat de corregir qualsevol dèficit, no ha de ser excusa per obviar les solucions respectuoses amb el medi ambient, basades en la utilització d'aïllaments tèrmics i en els principis de la construcció bioclimàtica.

15.2 Objecte i funció dels acabats

Els acabats, en conjunt, són elements que contribueixen a crear el caràcter, l'expressió i la imatge dels edificis. Aplicats sobre l'obra grossa que els serveix de suport, li confereixen qualitats per fer-la més habitable, confortable i estèticament agradable. Són la imatge visible dels paraments, tant interiors com exteriors.

Els acabats mantenen un diàleg visual i tàctil constant amb els usuaris dels edificis. Configuren una part substantiva del paisatge urbà. És un fet contrastat que els colors i les textures incideixen sobre l'estat anímic de les persones. Les raons exposades són més que suficients perquè es triïn amb reflexió i cura.

Més enllà de l'estètica, els acabats dels elements constructius tenen moltes altres funcions, com ara contribuir a la durabilitat, garantir la seguretat d'ús, potenciar la seva integració dins el conjunt de l'edifici o singularitzar-ne una part, per esmentar-ne els més significatius.

En els acabats, té un pes significatiu l'oportunitat vinculada a la funcionalitat. Un acabat, considerat aïlladament, és un element neutre, atès que un color, una tex-



tura o un format adquireixen valor i resulten encertats o no en uns determinats ambients i funcionalitats.

La labor dels professionals és cercar l'equilibri entre els diferents acabats que conformen un ambient determinat, pel que fa tant a les seves prestacions estètiques com a la seva funcionalitat. A tall d'exemple, no té sentit incorporar un tipus de paviment apte per a usos domèstics en zones de trànsit intens.

També és responsabilitat dels professionals escollir els materials d'acabat tenint en compte aspectes com el seu impacte ambiental i el preu. El fet que un producte determinat pugui ser transportat al llarg de milers de quilòmetres no suposa que aquesta sigui una pràctica acceptable, especialment si es troben productes de característiques molt similars de procedències properes a l'obra.

Fer un estudi aprofundit dels acabats ultrapassa les possibilitats d'aquest capítol. Les referències a paviments, falsos sostres, revestiments i aplacats i pintures són simplement a títol il·lustratiu.

15.3 Els paviments

Els paviments constitueixen una de les famílies més àmplies dels acabats, tant per la diversitat de materials que els poden constituir –tèxtils, pintures, plàstics, ceràmica, terratzo, fusta, suro, pedra natural, aglomerats o materials sintètics–, en funció de les tècniques d'aplicació pròpies de cada material, com per la diversitat de formats, colors i textures en què cadascun d'ells es pot presentar.

Com a exemples de la diversitat esmentada, la fotografia inferior esquerra mostra un paviment de gres amb acabat rústec, la central detalla un parquet i la de la dreta, un paviment industrial resolt amb un producte autoanivellant.



És bàsic conèixer a fons tant els requisits estètics i funcionals que un paviment ha de complir com la diversitat d'ofertes del mercat, per tal que el professional competent pugui fer la prescripció més adequada a unes condicions determinades d'estètica i de funcionalitat.

15.4 Els falsos sostres

Els falsos sostres constitueixen un recurs d'acabat que permet ocultar, a l'espai lliure fins al sostre estructural, lluminàries, conductes d'aire condicionat i, en

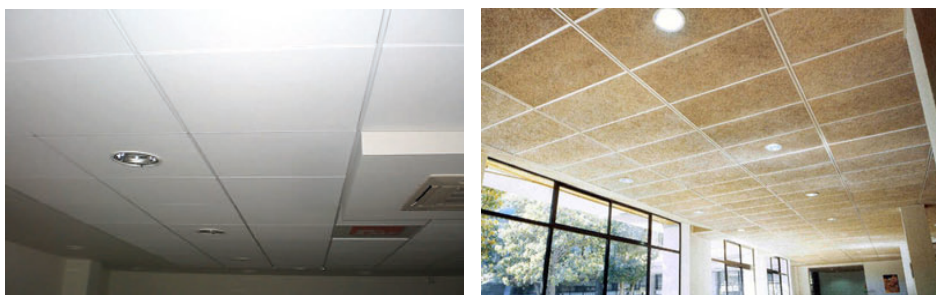


general, tota mena d'instal·lacions que altrament quedarien vistes i requeririen un acabat específic.

Habitualment, les instal·lacions vistes són més cares que les ocultes, raó per la qual els falsos sostres són una solució habitual en edificis amb moltes instal·lacions. Als habitatges, els falsos sostres es col·loquen en zones específiques, com cuines, banys i passadissos, per tal de disposar de la màxima altura lliure possible als dormitoris i a les zones d'estar.

Es disposa d'una gran varietat de falsos sostres, des de l'encanyissat tradicional, ara en desús, passant pels extradossats de plaques de cartró gruix, fins a sistemes modulars amb diverses textures i acabats, suspesos de guies vistes o ocultes.

Les fotografies següents mostren dos models de fals sostre suspesos per un sistema de guies vistes. A la de l'esquerra, les plaques presenten un acabat amb pintura blanca, mentre que, a la de la dreta, estan fetes amb encenalls de fusta i en conserven la textura i color naturals.



Menys usuals són els falsos terres, atès que, per la seva especificitat, es reserven per a oficines, laboratoris o locals amb usos molt específics. La seva funció és similar a la dels falsos sostres. L'acabat de les llosetes resistents encapsulades amb xapes d'acer per garantir-ne la resistència al foc es fa amb llosetes de moqueta o de vinil.

15.5 Els revestiments i els aplacats

En el lèxic propi de la construcció, el concepte de revestiment designa, de forma preferent, l'aplicació sobre un parament d'un gruix relativament prim (al voltant d'1 cm) d'un material específic, que té les funcions de protegir, regularitzar i decorar la superfície d'uns paraments determinats.

El material de revestiment sol ser una pasta que, en el moment d'aplicar-la, garanteix adherència i plasticitat. Transcorregut el temps pertinent, la capa aplicada s'endureix i estabilitza les seves dimensions.

La fotografia esquerra de la pàgina següent mostra els materials per realitzar un arrebossat: el morter, una paleta i un aplanador. La fotografia de la dreta correspon a la col·locació d'una rajola ceràmica en una cambra humida. S'hi pot ob-



servar la qualitat adhesiva del morter emprat, formulat amb addició de resines. S'aplica amb una pala plana dentada per tal de garantir una bona superfície de contacte entre el suport i la peça en pressionar-la sobre el suport.



També tenen la consideració de revestiment, per la seva capacitat de cobrir superfícies, la fusta en panells o en delgues, les pintures i el paper decoratiu. Per aquesta mateixa raó, també formen part dels revestiments els aplacats de rajola ceràmica que s'empren per protegir els paraments dels banys i de les cuines, i les plaques de pedra natural o artificial.

15.6 Els morters monocapa

Els morters monocapa constitueixen un revestiment continu que protegeix i decorar els paraments de la façana en una sola operació, perquè estan pigmentats en massa.

Estan compostos per conglomerants hidràulics (ciment gris i blanc, i calç), àrids seleccionats, pigments inorgànics i additius, per tal de facilitar-ne l'aplicació i millorar-ne la impermeabilitat a l'aigua i la permeabilitat al seu vapor.

Milloren les prestacions dels morters tradicionals en homogeneïtat, adherència, tixotropia, temps de treball i rendiment. Són d'aparició relativament recent i es van començar a comercialitzar al nostre país a la dècada dels anys vuitanta.

Es presenten en sacs i, per aplicar-los manualment o projectats, tan sols cal afegir-hi aigua en les proporcions indicades pel fabricant.

15.6.1. Acabats

Els morters monocapa permeten diversos acabats:

Raspat. Un cop aplicat el morter monocapa, es deixa endurir parcialment durant un temps prudencial, que pot variar en funció de les condicions atmosfèriques. A continuació, la superfície es frega amb una pala plana de pues fins a aconseguir la textura volguda. A continuació, se'n raspallen les partícules no adherides.



La fotografia inferior esquerra mostra la fase en què el morter monocapa és projectat. La de la dreta il·lustra el procés de raspat.



A la gota. Aquesta tècnica d'aplicació també és coneguda amb el nom de "tirollesa". Consisteix a aplicar o projectar gotes de morter monocapa sobre una base del mateix material, parcialment endurida, fotografia inferior esquerra.

Aixafat. L'acabat aixafat es realitza pressionant un acabat a la gota amb una pala plana, quan la gota està parcialment endurida, fotografia central.

Remolinat. Un cop estesa sobre el parament una capa de producte, la superfície s'enllesteix amb un remolinador, com si es tractés d'un morter tradicional. Aquest sistema d'aplicació pot causar clapes de colors diferents. Per evitar-les, es recomana emprar aquest mètode només en zones de dimensions reduïdes.

Rústec. Consisteix a aplicar una segona capa sobre la inicial per tal d'aconseguir un efecte rugós.

Pedra projectada. Sobre el producte fresc, es projecten àrids seleccionats i s'acaben d'introduir amb una pala plana. El seu diàmetre pot oscil·lar entre les fraccions de 3-5, 4-7 i 8-12 mm. En tot cas, sempre hi ha d'haver, com a mínim, 8 mm de morter monocapa entre l'intradós de la pedra i el suport, fotografia dreta.



15.6.2. Aplicació

Per aplicar el morter monocapa, es requereixen unes mínimes condicions de plentitud i de neteja del suport. La temperatura d'aplicació oscil·la entre un màxim de 35°C i un mínim de 5°C.



Cal sectoritzar les zones de treball per tal de fer panys homogenis. Les dimensions màximes recomanades són de 2,20 m en horitzontal i 7 m en vertical, fotografia inferior esquerra.

Els espais de treball es delimiten amb jonquets. Es procura que les divisòries resultants quedin integrades en el disseny de la façana.



El gruix mitjà que s'hi ha d'aplicar ha de ser de 15 mm. No es poden sobrepassar aplicacions de més de 20 mm i de menys de 10 mm en una sola capa. El gruix total obtingut és el resultat d'aplicar-hi dues capes: la primera, de 3-4 mm de regularització, i la segona, d'acabat.

Els encontres i les zones delicades en què es poden provocar fissures es resolen incorporant-hi mallat de fibra de vidre de 10 x 10 mm, encavallada un mínim de 30 cm a cada costat, fotografia superior dreta.

15.7 Pintures

Un dels acabats més comuns dels paraments dels edificis, tant interiors com exteriors, és la pintura. La pintura es pot definir com la barreja formada per un dissolvent, un pigment i un lligant.

Si la pintura no conté colorants s'anomena *vernís*. Com a dissolvents, es poden emprar productes orgànics o aigua.

Les pintures es fabriquen per a aplicacions específiques, per a interiors, per a exteriors, per a ser aplicades sobre metalls o sobre superfícies poroses.

Hi ha pintures que tenen una formulació que els confereix una gran capacitat per barrar el pas a l'aigua, com és el cas de les que tenen com a base el clor cautxú. S'utilitzen per revestir dipòsits i piscines, i per reparar terrats.

També hi ha pintures amb capacitat per retardar l'efecte del foc sobre el seu suport per mitjà de la formació d'una escuma aïllant quan es produeix un increment significatiu de la temperatura. Són les anomenades *pintures intumescent*s.

Per cobrir els paraments de les façanes, les pintures més habituals són les de silicats i les que contenen resines Pliolite. Ambdues es caracteritzen perquè

formen una barrera impermeable al pas de l'aigua. En canvi, permeten que passi en forma de vapor. S'evita així la formació de bombolles superficials i els posteriors desprendiments propis de les pintures plàstiques no transpirables quan s'apliquen inadecuadament en exteriors.

A l'interior dels habitatges, s'utilitzen preferentment pintures plàstiques, per raons d'economia, rendiment i facilitat d'aplicació. Les pintures tradicionals al tremp i a la cola pràcticament no s'utilitzen.

La fotografia inferior esquerra mostra una carta completa de colors de pintura amb els estris necessaris per aplicar-la: els pinzells i el corró. Les cartes de color més emprades, RAL i Pantone, estan normalitzades, de forma que cada color té un número d'identificació.

La fotografia central correspon a la impermeabilització d'un terrat per mitjà de l'aplicació d'una pintura de clor cautxú. La fotografia de la dreta mostra amb detall una fase del procés de pintat de l'interior d'un habitatge.



Les pintures amb dissolvents orgànics i alguns pigments, per la seva composició química, són altament contaminants. Als darrers anys, s'ha fet un gran esforç per reduir l'efecte contaminant de les pintures, en dos sentits:

- Fabricant pintures menys contaminants i donant prioritat a les de base aquosa.
- Disposant a l'obra contenidors específics per als residus especials, és a dir, començant la gestió dels residus en origen.

Els professionals de la construcció tenen l'obligació de conèixer quines pintures són potencialment més contaminants i actuar en conseqüència, tant en la seva tria com en la gestió dels residus de l'obra.